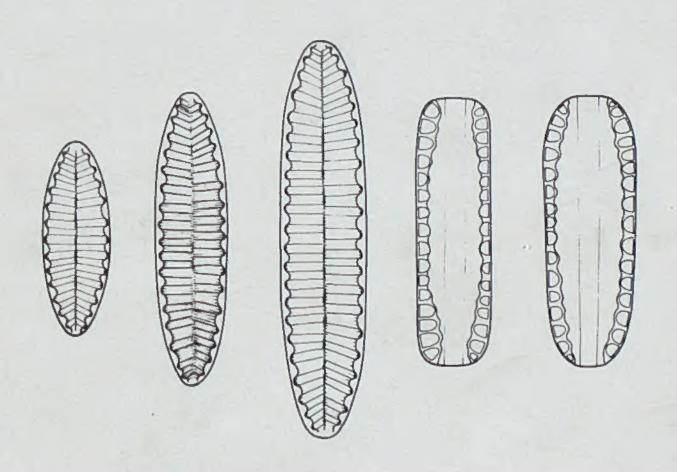
Université de Liège
Station scientifique des Hautes-Fagnes
et Département de botanique

Etude écologique des rivières du nord du massif Ardennais (Belgique) : flore et végétation de diatomées et physico-chimie des eaux.

2. Typologie des milieux naturels



par **Louis Leclercq,** Dr. Sci.,
Facultés universitaires N.-D.-P., Namur

1984

Citation bibliographique:

Leclercq L., 1984.- Etude écologique des rivières du nord du massif Ardennais (Belgique): flore et végétation de diatomées et physico-chimie des eaux. 2. Typologie des milieux naturels. Robertville, Stat. scient. Hautes-Fagnes, 5 + 329 p., 6 fig. & 4 tabl. h.t.

Citation de l'ouvrage en entier (3 volumes):

Fabri R. & Leclercq L., 1984.- Etude écologique des rivières du nord du massif Ardennais (Belgique): flore et végétation de diatomées et physico-chimie des eaux. Robertville, Stat. scient. Hautes-Fagnes, **1**: 379 p., 33 pl. h.t.; **2**: 5 + 329 p., 6 fig. & 4 tabl. h.t.; **3**: 5 + 201 p., 4 cartes & 9 tabl. h.t.

Adresse des auteurs:

Dr. Louis Leclercq
Facultés universitaires N.-D.-de-la-Paix
Laboratoire de botanique
rue de Bruxelles 61
B-5000 Namur
Belgique

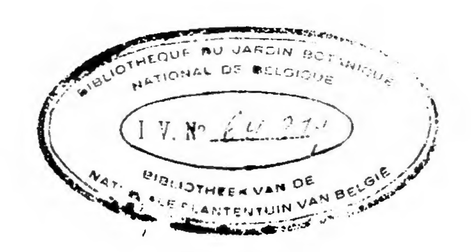
Dr. Régine Fabri
Jardin botanique national de Belgique
Domaine de Bouchout
B - 1860 Meise
Belgique

Editeur: Station scientifique des Hautes-Fagnes
Mont-Rigi
B - 4898 Robertville
Belgique

D/1984/4274/1

Illustration en couverture: Surirella roba Leclercq (x 1000).

Université de Liège
Station scientifique des Hautes-Fagnes
et Département de botanique



Etude écologique des rivières du nord du massif Ardennais (Belgique) : flore et végétation de diatomées et physico-chimie des eaux.

2. Typologie des milieux naturels

par **Louis Leclercq,** Dr. Sci.,
Facultés universitaires N.-D.-P., Namur

1984

Remerciements

Cette recherche, réalisée en collaboration avec Mlle R. FABRI, sur les rivières du nord du massif Ardennais, comporte trois parties:

- une partie commune où sont rassemblés les résultats bruts, l'essentiel des techniques, un commentaire détaillé pour chaque taxon de diatomée et une iconographie importante (FABRI & LECLERCQ, 1984);
- une partie consacrée à l'impact des pollutions de type rural (FABRI, 1984);
- le présent travail de typologie des milieux naturels (LECLERCQ, 1984).

Mes remerciements s'adressent en premier lieu à

- M . R. SCHUMACKER, professeur associé à l'Université de Liège (Département de Botanique, ULg), promoteur de ce travail, pour ses nombreux conseils, la lecture attentive du manuscrit et son accueil à la station scientifique des Hautes-Fagnes,
- M . J.L. DE SLOOVER, professeur aux Facultés universitaires de Namur (Laboratoire de Botanique, FUNDP), dans le service duquel une partie importante du travail a été réalisée et qui m'a accordé toute facilité pour le mener à bonne fin,
- M . J. LAMBINON, professeur à l'Université de Liège (Département de Botanique, ULg), qui m'a permis de commencer ce travail dans son service.

Cette recherche n'aurait pu être entreprise sans le soutien financier de différentes Institutions qu'il m'est agréable de remercier ici:

- l'I.R.S.I.A. (Institut pour l'Encouragement de la Recherche scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture) qui m'a accordé une bourse pour les années 1976 à 1979;
- la station scientifique des Hautes-Fagnes pour les crédits de fonctionnement de 1976 à 1979;
- le laboratoire de Botanique des FUNDP pour les crédits de fonctionnement à partir de 1979.

Au sein des Facultés universitaires de Namur, j'ai pu apprécier l'efficacité de tous les services auxquels j'ai fait appel et qui méritent une mention particulière:

- le laboratoire de Botanique (prof. J.L. DE SLOOVER) et tout spécialement Mme Ch. VAN DIJCKE, dessinatrice, pour la réalisation très soignée de l'iconographie des diatomées (voir fascicule annexe) et des nombreux tableaux et figures qui illustrent le présent travail et Mr. J.P. TROUSSART, technicien, pour son aide au laboratoire et sur le terrain;
- le service de Biologie quantitative (prof. E. FEYTMANS, FUNDP) où Mr. E. DEPIEREUX, assistant, a réalisé la mise en ordre des fichiers de données et l'essentiel des traitements sur ordinateur;
- l'Unité interfacultaire de Microscopie électronique (prof. R. LELOUP) où je remercie principalement M . Y. HOUBION, ingénieur-technicien, pour m'avoir initié et guidé lors de mes observations au microscope électronique;
- l'atelier de photographie (MM . J. COLLET et B. LOTIN).

Je remercie également M . P. COMPERE, algologue au Jardin Botanique national de Belgique (Meise), qui a bien voulu nous faire bénéficier de ses compétences lors des nombreuses mises au point nomenclaturales et pour les déterminations difficiles et qui a relu attentivement le chapitre floristique du fascicule annexe.

J'exprime toute ma gratitude à Mlle. B. MAQUET (Boursier I.R.S.I.A., FUNDP), pour ses encouragements, son aide assidue au laboratoire et sur le terrain et la lecture attentive du texte dactylographié et à mes parents qui ont dactylographié une partie du texte et ont aussi accepté de le relire.

De nombreuses autres personnes m'ont fourni aimablement des renseignements ou m'ont offert leurs services. Ce sont, par ordre alphabétique:

- M . B. BELOT (Laboratoire de Géologie générale et appliquée, ULg) pour des analyses de sulfates;
- M . M. COSTE (Université de Bordeaux I) pour des déterminations de diatomées;
- M . C. DEFOSSE (Institut Henrijean, Spa) pour des analyses des eaux de pouhons de la région de Spa;
- Mme. C. FABRI pour la mise au point du programme de tracé des diagrammes ioniques;
- M . S. FONTAINE (technicien-résident, Station scientifique des Hautes-Fagnes) pour son aide sur le terrain et au laboratoire;
- M . H. GERMAIN (professeur honoraire, Université d'Angers) pour des déterminations de diatomées;
- M . F. GEUKENS (Laboratoire de Géologie, Koninklijke Universiteit Leuven) pour m'avoir indiqué les limites géologiques dans le massif de Stavelot;
- Mme. G. HENRARD qui a mis beaucoup de soin pour dactylographier le texte;
- M . B. MAQUET (technicien) qui s'est aimablement chargé de photocopier le texte;
- M . J.CL. MICHA (Laboratoire d'Ecologie des eaux douces, FUNDP) qui m'a autorisé à utiliser le microordinateur et la table traçante de son service;
- M . J. MARGOT (Laboratoire de Botanique, FUNDP) pour son aide sur le terrain;
- M . J. REMACLE (Laboratoire d'Ecologie, ULg) qui m'a autorisé à utiliser le spectrophotomètre d'absorption atomique.

Que toutes ces personnes, et celles dont j'aurais pu oublier les noms, trouvent ici l'expression de ma reconnaissance.

Je remercie enfin MM . les professeurs H. LANGE-BERTALOT (Goethe-Universität, Frankfurt), J.J. SYMOENS (Vrije Universiteit Brussel), J.L. RAMAUT (ULg), R. SCHUMACKER (ULg) et Mr. J.P. DESCY, Dr (ULg) d'avoir bien voulu être membres de mon jury et Mr. le professeur M. STREEL (ULg) pour avoir accepté d'en assurer la Présidence.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

Depuis le début du siècle, de nombreux travaux d'algologie ont été réalisés dans des milieux divers, mais principalement en eau stagnante.

Pour les eaux courantes, qui font l'objet de notre travail, beaucoup d'études sont essentiellement des inventaires floristiques, entre autres, les nombreux travaux de FOGED, HUSTEDT, PIERRE... D'autres, s'inspirant des règles de la phytosociologie, décrivent des groupements ou des associations d'algues, en relation avec les facteurs du milieu (climat, physico-chimie des eaux) : BUDDE (1942), MESSIKOMMER (1942), MARGALEF (1949), SYMOENS (1957), SCHLÜTER (1961), WHITFORD & SCHUMAKER (1963), WASYLIK (1965), ... Pour un inventaire bibliographique plus complet à ce propos, nous renvoyons à la publication de JOHANSSON, KRONBORG & THOMASSON (1977).

Il faut remarquer que beaucoup de ces études sont réalisées dans des eaux plus minéralisées que les nôtres et dans de grands cours d'eau.

D'autre part, la prise de conscience plus récente de l'urgente nécessité de préserver notre patrimoine nature a conduit à des travaux plus appliqués sur les eaux polluées, alors que les milieux naturels correspondants restaient insuffisamment connus.

En Belgique, FABRI & LECLERCQ (1984) recensent ± 15 travaux floristiques importants consacrés, en tout ou en partie, aux diatomées de l'Ardenne (fascicule annexe, chapitre 5.2.) parmi lesquels nous rappelerons, sur le plan sociologique, l'importante synthèse de SYMOENS (1957) sur les groupements des algues des eaux de l'Ardenne et des régions voisines et le travail de DESCY (1979) sur les diatomées du bassin de la Meuse.

Mais on s'aperçoit, en fait, que ces deux travaux (SYMOENS, 1957 et DESCY, 1979) dépassent peu le cadre de la basse et moyenne Ardenne : seuls quelques prélèvements ont été réalisés par ces auteurs dans le nord du massif Ardennais, région géologiquement très différente, qui se caractérise par l'oligotrophie de ses eaux.

C'est le caractère fragmentaire des données disponibles sur la végétation de ces eaux courantes de niveau trophique très faible et la sensibilité de ces milieux face à l'altération croissante et généralisée de notre environnement

qui nous ont incité à entreprendre, dans les rivières naturelles du nord du massif Ardennais, une étude intensive dont certains éléments ont déjà été publiés (LECLERCQ, 1977; FABRI & LECLERCQ, 1979; LECLERCQ & FABRI, 1982).

Notre travail est une synthèse de nos prospections réalisées entre mars 1976 et avril 1979 dans le nord du massif Ardennais, en nous limitant strictement aux rivières naturelles c'est à dire qui ne sont influencées théoriquement que par le substrat en place, la végétation et l'eau de pluie. La valeur de cette définition est toute relative puisque la couverture végétale naturelle a été partout plus ou moins fortement altérée depuis longtemps et que l'eau de pluie est plus ou moins fortement contaminée par des rejets atmosphériques variés. Les nombreuses études au sujet des pluies acides et nos propres analyses montrent que le niveau de minéralisation des eaux de pluie est souvent équivalent et parfois même supérieur à celui des rivières oligotrophes que nous avons étudiées.

Dans cette optique, les objectifs poursuivis peuvent être résumés comme suit :

- établir une typologie des rivières naturelles de cette région sur base de leurs caractéristiques physico-chimiques et de leurs peuplements de diatomées;
- étudier en détail les variations saisonnières de ces peuplements algaux, variations qu'il est indispensable de connaître si l'on veut établir une typologie valable, aussi générale que possible dans le cadre d'une région;
- compléter l'inventaire floristique des algues de Belgique;
- préciser l'écologie, peu ou mal connue, de nombreux taxons communs dans ces types d'eau oligotrophes à mésotrophes peu étudiée.

Ces différentes phases sont essentielles pour faire de cette typologie un outil de référence fondamental et objectif sans lequel on ne peut pas mener :

- une évaluation correcte de l'état des eaux sur un plan régional;
- une politique adaptée de la protection ou de la restauration des eaux courantes.

Dans le chapitre 3 , nous préciserons la corrélation étroite qui existe entre la géologie et composition physico-chimique de l'eau, et ce pour chaque assise présente dans la région étudiée.

Ensuite, nous établirons une typologie physico-chimique à partir de 71 stations de prélèvement correspondant à des situations géologiques variées. Les variations journalières, saisonnières et interannuelles seront analysées pour chaque paramètre.

Le chapitre 5 est consacré à une analyse détaillée de différents aspects de la flore et de la végétation de diatomées avec, successivement :

- l'établissement de la liste floristique (417 taxons) qui se trouve dans le fascicule annexe;
- une typologie des 71 stations de référence à partir des 432 relevés semi-quantitatifs de diatomées;
- une étude détaillée des variations saisonnières de la productivité primaire, des taxons et des peuplements;
- une synthèse auto-écologique pour les 82 taxons principaux intervenant dans notre typologie.

Dans le fascicule annexe, nous avons rassemblé les chapitres communs au travail de FABRI (1984) et au nôtre, à savoir :

- le contexte mésologique (géologie, oro-hydrographie, climat, végétation);
- les méthodes (analyses physico-chimiques, étude des diatomées);
- la description des stations;
- les résultats bruts des analyses physico-chimiques;
- la liste complète des taxons déterminés et leur étude floristique (synthèse bibliographique sur l'écologie des taxons, problèmes taxonomiques, répartition en Ardenne et spectres écologiques);
- l'iconographie originale;
- la bibliographie.

Pour plus de facilité, nous avons utilisé dans notre texte les abréviations des noms de taxons. A la fin de ce volume se trouve un encart contenant une liste de ces abréviations avec le nom correspondant, ainsi que les principaux tableaux physico-chimiques et de végétation qui illustrent notre typologie ; ils pourront ainsi être aisément consultés en regard du texte.

30.00
20.00
10.00
0.00
-10.00
-20.00

TEMP.(DEGRE CENT.)

Moyenne annuelle

0°

J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M

1976 1977 1978 1979

Température moyenne journalière

60.00
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00

PLUV.(mm)

J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M

1976 1977 1978 1979

Pluviosité journalière

Figure 1.- Profils journaliers de la température moyenne et de la pluviosité de 1976 à 1979 (Bull. mens., IRM).



CHAPITRE 1

CONTEXTE MÉSOLOGIQUE DU NORD DU MASSIF ARDENNAIS

1.1. Cadre géologique, climatique et végétation (cf. fascicule annexe, chapitre 1)

La situation de la région que nous avons étudiée, sa géologie, sa lithologie, sa pédologie, son orohydrographie, son climat, sa végétation et l'affectation du sol ainsi que la description détaillée de chaque station et la séquence géologique précise en amont des points de prélèvements sont exposés dans le fascicule annexe (FABRI & LECLERCQ, 1984).

Pour plus de facilité, nous reprenons dans ce volume, mais sans commentaire supplémentaire, les cartes géologiques de chaque bassin (Amblève, Our, Roer et Vesdre) avec la localisation des stations de prélèvements étudiées par FABRI (1984) et nous-même (figures 2 à 5, hors texte). Pour la même raison, nous rappelons la séquence géologique en amont de nos stations dans le tableau de typologie physico-chimique (tableau 56).

Pour la climatologie, nous allons étudier de façon plus particulière la température et la pluviosité pendant les trois années de prospection (1976, 1977 et 1978) de manière à évaluer l'influence de ces paramètres sur la physico-chimie des eaux et leur végétation.

1.2. Analyse détaillée de la température et de la pluviosité en 1976, 1977 et 1978.

A partir des relevés de la station météorologique du Mont-Rigi, nous avons calculé la température moyenne annuelle et la pluviosité annuelle et nous en avons tracé les graphiques de température moyenne journalière et de pluviosité journalière pour la période de prélèvement (de janvier 1976 à avril 1979) (figure 1).

En raison de l'irrégularité des données journalières, nous les avons synthétisées en calculant la température moyenne mensuelle de l'air (tableau 1) et la pluviosité moyenne cumulée par quinzaine (tableau 3).

1.2.1. Température (tableau 1)

D'une façon générale, on peut dire que les températures moyennes annuelles de 1976, 1977 et 1978 s'écartent peu de la moyenne normale de 6.1°C fournie par l'Institut royal météorologique (Bulletins mensuels, 1978) et calculée depuis 1900.

Pour les trois années, les premières et dernières gelées et les températures minimales et maximales se produisent pendant des périodes identiques.

De même, les températures moyennes mensuelles sont comparables, sauf pour les mois de l'été 1976 (mai, juin, juillet et août) qui ont été en moyenne nettement plus chauds. C'est d'ailleurs le 17 juillet 1976 que l'on note le maximum le plus élevé (30.7°C).

L'examen de ces relevés de températures permet donc de conclure que, d'une façon générale (à l'exclusion de l'été 1976), les trois années de prospection ont présenté un régime thermique assez comparable.

	1976	1977	1978
température moyenne annuelle	6.9°C	6.5°C	5.7°C
première gelée nocturne	14 mai	21 avril	19 avril
dernière gelée nocturne	4 novembre	13 novembre	14 novembre
température minimum	-13.8°C (30 février)	-10.8°C (30 déc.76)	-12°C (20 féвier)
température maximum	30.7°C (17 juillet)	24.2°C (05 juillet)	27.5°C (31 juillet)
températures moyennes mensuelles			
J	0.0°C	-1.1°C	-1.5°C
F	-0.1°C	1.3°C	-3.1°C
M	0.4°C	4.0°C	2.6°C
A	4.6°C	2.2°C	4.3°C
M	10.8°C	8.6°C	8.9°C
J	15.3°C	11.7°C	11.7°C
J	17.3°C	13.6°C	12.1°C
A	14.8°C	13.3°C	12.3°C
S	11.0°C	10.0°C	10.0°C
O	8.8°C	9.7°C	8.0°C
N	2.4°C	2.5°C	3.8°C
D	-2.2°C	2.0°C	-0.4°C

Tableau 1.- Températures moyennes annuelles et mensuelles de l'air pour 1976, 1977 et 1978.

1.2.2. Pluviosité (tableau 2)

	1976	1977	1978	NORMALE
pluviosité annuelle (mm)	1070.4	1526.7	1331	1363
jours sans pluie	164	91	114	-
pluviosité journalière (mm) (jours de pluie seulement)	5.3	5.6	5.3	-
précipitations journalières maximum	38.3 (10/1)	50.9(12/8)	41.2(06/5)	-
neige de ...à...	24/04 → 03/11	24/04 → 12/11	16/04 → 17/10	-
pluviosité mensuelle				
J	279.7	142.2	90.7	125.0
F	64.5	148.4	65.3	99.0
M	50.9	77.6	186.7	91.0
A	22.9	188.1	58.9	105.0
M	85.5	87.2	141.5	92.0
J	34.4	130.7	115.3	110.0
J	119.7	101.0	151.8	140.0
A	17.4	138.5	73.0	122.0
S	72.3	58.2	131.8	100.0
O	73.4	60.0	86.8	122.0
N	190.9	270.7	54.3	122.0
D	58.8	124.1	174.9	135.0
pluviosité moyenne mensuelle	89.2	127.2	110.9	113.6
écart type	(76.1)	(59.7)	(46.0)	(16.4)

Tableau 2.- Pluviosité annuelle et mensuelle en 1976, 1977 et 1978 et comparaison avec la normale fournie par l'I.R.M.

Les chiffres de pluviosité annuelle montrent que l'année 1976 fut particulièrement sèche et l'année 1977 très pluvieuse, alors que l'année 1978 est proche de la moyenne normale (1363 mm) calculée depuis 1900.

En 1976, les 164 jours sans pluie confirment le caractère exceptionnel de cette année pendant laquelle les périodes d'étiage des rivières ont été très accentuées.

Cependant, si on calcule la pluviosité moyenne journalière sans tenir compte des jours sans pluie, on obtient des chiffres très comparables d'une année à l'autre (de 5.3 à 5.6 mm par jour).

Les chiffres de pluviosité mensuelle présentent une grande variabilité d'une année à l'autre et les chiffres de la normale tendent par conséquent à s'équi-

pluviosité 1976			pluviosité 1977			pluviosité 1978		
mois	par 15 jours	moyenne par quinzaine	mois	par 15 jours	moyenne par quinzaine	mois	par 15 jours	moyenne par quinzaine
7511	138.2							
12	34.0							
	27.4							
7601	178.0	68.3 mm	7701	85.2		7801	35.3	
	101.7			57.0			55.4	
02	56.5		02	76.7		02	58.6	
	8.0			71.7	56.5		6.7	43.9
03	2.9		03	34.7		03	54.8	55.6
	48.0	33.0		42.9			131.9	
04	15.0		04	135.1	73.1	04	28.9	
	7.9			53.0	68.8		30.0	78.7
05	23.6		05	61.2		05	124.0	53.5
	61.9			26.0	54.5		17.5	64.2
06	30.8		06	77.0		06	42.6	
	3.6			53.7			72.7	
07	12.3		07	2.7	56.0	07	122.1	66.8
	107.4			98.3			29.7	
08	8.9	31.8	08	69.3	65.5	08	34.2	40.0
	8.5			69.2			38.8	51.2
09	42.6		09	25.0	41.3	09	57.3	
	29.7			33.2			74.5	54.7
10	41.2		10	37.8		10	13.3	
	32.2			22.2	57.6		73.5	
11	68.4		11	137.3		11	11.0	
	122.5			133.4			43.3	
12	45.1		12	43.7		12	54.1	57.3
	13.7			80.4			120.8	

Tableau 3.- Pluviosité par quinzaine et pluviosité moyenne par quinzaine calculée sur les 4 mois (1976) ou les 2 mois (1977 et 1978) précédant les prélèvements (en mm).

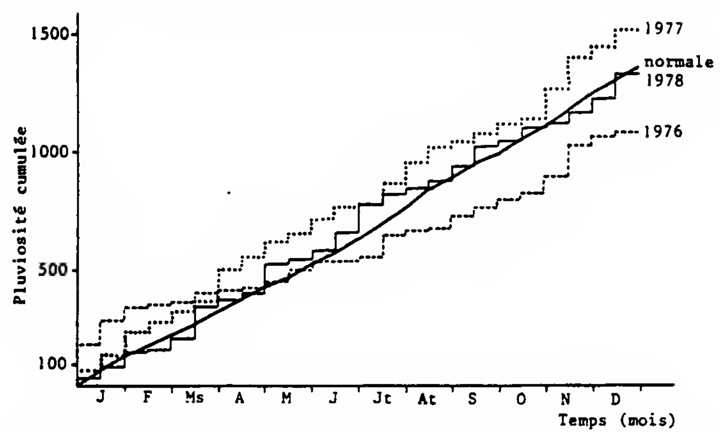


Figure 6.- Pluviosité cumulée par quinzaine en 1976, 1977 et 1978 et pour les valeurs normales (I.R.M., Bull. mens. 1978).

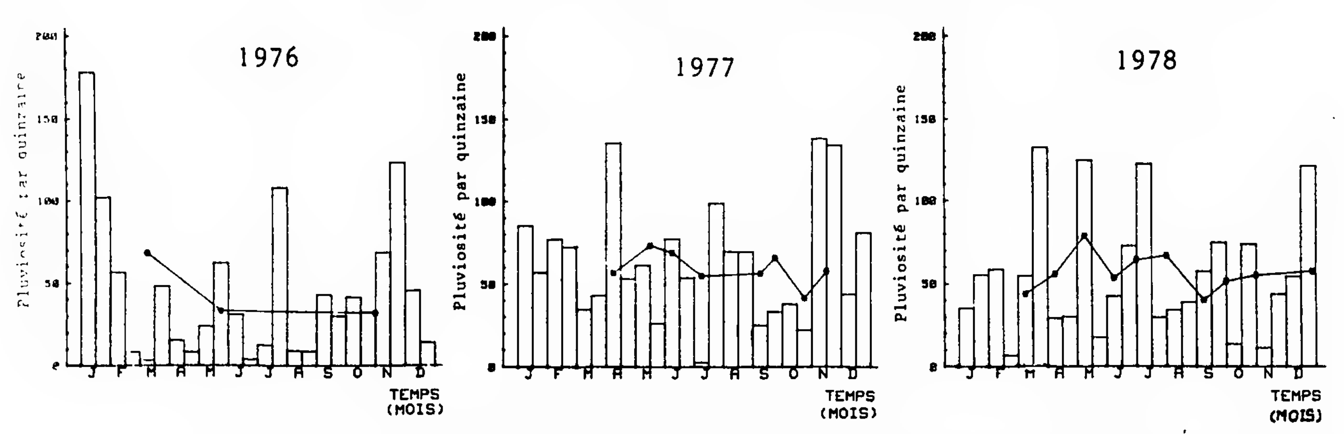


Figure 7.- Pluviosité par quinzaine (histogrammes) et pluviosité moyenne par quinzaine calculée sur 4 mois (1976) et 2 mois (1977 et 1978) avant les dates des prélèvements (profils).

librer (écart type = 16.4) autour de la moyenne mensuelle normale de 113.6. Il n'est donc pas possible de distinguer dans la région une saison sèche et une saison pluvieuse à des dates relativement fixes.

Pour mieux cerner les périodes de sécheresse, il est intéressant de calculer la pluviosité par période de 15 jours (tableau 3). Ces chiffres permettent de tracer des histogrammes de valeurs cumulées (figure 6).

On note alors :

- en 1976 une période sèche exceptionnellement longue, allant de février à novembre et interrompue seulement entre le 15 et le 31 juillet par une période pluvieuse;
- en 1977, une pluviosité importante avec seulement une courte période sèche en septembre-octobre;
- en 1978, une répartition régulière de la pluviosité pendant toute l'année, sans période sèche.

Le tableau 3 et la figure 7 donnent également la pluviosité moyenne par quinzaine pendant une certaine période précédant les prélèvements, soit 4 mois pour 1976 et 2 mois pour 1977-1978. Ce choix, dicté par l'irrégularité et la rareté des pluies en 1976, sera justifié lors de l'analyse de certains paramètres physico-chimiques.

1.2.3. Conclusion

En résumé, les régimes thermiques des trois années de prélèvements sont très semblables en dehors de l'été 1976, plus chaud.

Par contre, les régimes pluviométriques sont très différents : temps très sec tout au long de 1976, très pluvieux en 1977 avec une arrière-saison sèche (septembre-octobre), pluviosité normale, régulièrement répartie en 1978.

Ces résultats sont importants pour l'interprétation des variations saisonnières de la composition physico-chimique des eaux et des peuplements algaux. La figure 7, donnant en histogrammes la pluviosité par quinzaine, avec, en plus, la pluviosité moyenne par quinzaine pendant une certaine période précédant les prélèvements, sera particulièrement utile.

N°St.	1976			1977									1978										1979	1980		
	03	06	10	04	05	06	07	27	08	09	10	11	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	04	04	07	08
6	x	x	x																							
9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x													x	
12	x	x	x																							
13	x	x	x																							
14			x																							
15	x	x	x																							
19			x																						x	
20	x	x	x																							
23	x	x	x																							
29	x	x	x	x			x				x														x	
30	x	x	x																							
31	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
33	x	x	x	x			x				x															
35	x																									
38	x	x	x	x			x				x															
39	x	x	x	x			x				x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
40	x	x	x	x			x				x													x	x	x
42	x	x	x	x			x				x															
43	x	x	x	x			x				x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
44	x																									
47	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
59	x	x	x																							
61	x	x																								
63	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x		x		x				x	
66	x	x	x	x			x				x														x	
67	x	x	x																							
68	x	x	x																							
75	x	x	x																							
88	x	x	x																							
89	x	x	x																							
91	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
93	x	x	x	x																				x	x	x
94	x	x	x																							
95	x	x	x																							
96	x																									
98	x	x	x	x			x				x															
111	x	x	x																							
119	x	x	x	x			x				x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
121	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
122	x	x	x	x			x				x			x			x		x		x					
129	x	x	x																							
130	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x		x		x				x	
133	x	x	x																							
138	x	x	x																							
139	x	x	x	x			x				x															
140	x	x	x																							
143	x	x	x																							
144	x	x	x																							
145	x	x	x	x			x				x														x	
148	x	x	x																							
150	x	x	x																							
153			x																							
154			x	x			x				x															
157			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x													x	
160	x	x																								
162		x	x																							
165		x																								
167		x	x																							
168		x																								
169				x																						
170				x	x	x	x	x	x	x	x	x													x	
172				x			x				x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
173				x			x				x															
175				x																						
176							x				x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
188							x																			
189							x																			
190							x																			
191							x																			
198										x																
252							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
253				x	x	x	x	x	x	x	x	x														

Tableau 4.- Fréquence des prélèvements dans les 72 stations entre 1976 et 1980 (04 et 08.1980: cycles journaliers; 07.1980: crues exceptionnelles).

CHAPITRE 2

CHOIX DES STATIONS ET FRÉQUENCE DES PRÉLÈVEMENTS

Une étude préalable du réseau hydrographique sur cartes géologique et topographique a permis de localiser une série de stations en fonction de leur substrat géologique, de leur environnement et de leur accessibilité. Dans la mesure du possible, un environnement ouvert (fagne, prairie alluviale) plus favorable à la croissance des algues a été recherché. Cette standardisation, autorisant par la suite la comparaison entre stations n'a cependant pas toujours été possible : quelquefois une des berges (plus rarement les deux) est occupée par un peuplement forestier. Pour la localisation et la description des stations, voir cartes 2 à 5 et fascicule annexe, chapitre 3.

Suivant ces critères, une série de stations, sur différents substrats géologiques, a été sélectionnée soit dans des milieux naturels pour établir une typologie des eaux courantes, soit dans des milieux altérés par les activités humaines pour étudier l'impact de pollution de type rural (FABRI, 1984).

Ainsi, 118 stations ont été visitées 3 fois en 1976 (mars, juin et octobre) dans le nord du massif ardennais. Cette prospection générale a été suivie en 1977 par une prospection des 66 stations les plus intéressantes, dont certaines ont été étudiées 3 fois (en avril, juillet et octobre) et 10 autres mensuellement. En 1978, 32 stations parmi les 66 ont été suivies à 4 reprises (en avril, juillet, septembre et novembre) et 10 ont été visitées mensuellement.

Au total, nous disposons de 841 relevés floristiques et analyses physico-chimiques.

A partir de ces résultats, nous avons opéré une sélection sévère des stations naturelles ou aussi proches que possible de l'état naturel. Les critères utilisés sont d'ordre physico-chimique : a été retenue comme station de référence toute station présentant des teneurs en phosphates, nitrites et ammoniaque toujours nulles ou exceptionnellement très faibles (inférieures à 20 ppb-P pour les phosphates). Néanmoins, si une station présente pendant toute l'année une teneur faible de 20 ppb-P, elle est également rejetée car il s'agit d'une contamination systématique qui a un effet certain sur la végétation algale.

En procédant de cette façon, nous avons retenu 430 prélèvements effectués dans 72 stations. Le tableau 4 donne la fréquence de prélèvements dans les différentes stations au cours des 3 années et est complété par les prélèvements spéciaux de 1980 (cycles journaliers, crues exceptionnelles).

CHAPITRE 3

ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Matériel et méthodes (cf. fascicule annexe, chapitre 2)
Résultats bruts (cf. fascicule annexe, chapitre 4)

3.1. Cycles journaliers

Nos prélèvements étant effectués à différents moments de la journée, entre 9h00 et 19h00, il est important de connaître l'amplitude des variations journalières des paramètres physico-chimiques au cours de cycles de 24 heures. Dans ce but, deux cycles ont été réalisés en cinq stations, correspondant à des types d'eau bien distincts, l'un en période hivernale (avril 1980), l'autre en été (août 1980).

Les résultats (1 prélèvement toutes les 4 heures) sont donnés dans les tableaux 5 et 6 avec l'heure et la luminosité au moment du prélèvement.

Le paramètre le plus variable est évidemment la température qui diminue pendant la nuit, mais les écarts sont faibles en avril (maximum de 2.5°C) et plus importants en août (8°C). Entre 9h00 et 19h00, les écarts sont évidemment plus réduits (1.5°C en avril et 4°C en août). On remarque que les changements de température peuvent être très rapides en raison de la faible profondeur d'eau de ces rivières.

Le pH varie peu : il est systématiquement plus élevé pendant la journée, mais les écarts dépassent rarement 0.2 unités. On peut considérer que les modifications au cours de la journée ne sont pas significatives.

L'alcalinité varie parallèlement au pH et les écarts sont également très faibles (1.3 ppm-$CaCO_3$ au maximum); ils ne sont pas différents en hiver et en été.

Le pourcentage de saturation en oxygène dissous diminue systématiquement pendant la nuit. Ici, l'effet de l'activité de la végétation apparaît nettement : l'écart est faible en avril (6 % en moyenne) et beaucoup plus important en août (13 % en moyenne). L'écart est maximum (26 %) à la station 40 où la végétation aquatique (phanérogames et algues) était très développée; c'est d'ailleurs la seule station où une sursaturation diurne (103 %) a été notée. Entre 9h00 et 19h00, les écarts sont beaucoup plus faibles (en moyenne 2 % en avril et 4 % en août).

Les autres paramètres varient peu et dans des sens divers, si bien que la conductivité et la minéralisation globale sont très stables.

Globalement, nous pouvons conclure que les variations des paramètres entre 9h00 et 19h00 sont peu significatives et nettement inférieures aux variations saisonnières et stationnelles que nous étudierons à l'aide de prélèvements mensuels. Si on considère tout le cycle de 24 heures, la température, le pH, l'alcalinité et l'oxygène diminuent légèrement mais systématiquement pendant la nuit alors que les variations des autres paramètres sont insignifiantes. Enfin, dans des eaux à courant rapide comme les nôtres, la végétation (phanérogames et algues) doit être très abondante pour avoir un effet important sur les teneurs en oxygène dissous.

Localisation	Heure		t° °C	pH	O_2 ppm	O_2 %	Cond. µS/cm	Alc. ppm-$CaCO_3$	Oxyd ppm-O_2	Cl ppm	NO_3 ppm-N	PO_4 ppb-P	SO_4 ppm	Ca ppm	Mg ppm	Na ppm	K ppm	Fe ppm	Al ppm	Si ppm	Min.glob méq/l
Schwarzesvenn Station 31	20h15	◐	4.2	5.2	12.1	92	49	0.5	9.3	5.0	0.6	0	7.3	2.0	1.4	2.1	0.2	0.2	0.2	1.0	0.61
	1h15	●	3.5	5.2	12.7	95	43	0.0	6.6	4.6	0.6	0	6.2	2.0	1.3	2.2	0.2	0.4	0.2	1.0	0.57
	5h45	◐	3.0	5.2	12.8	95	44	0.0	6.6	5.0	0.7	0	7.1	2.2	1.4	2.7	0.3	0.2	0.2	1.0	0.63
	9h45	☼	3.5	5.4	12.8	96	43	0.5	6.2	4.6	0.7	0	7.1	1.0	1.4	2.2	0.2	0.4	0.2	1.0	0.60
	14h00	☼	5.0	5.4	12.6	99	45	0.8	12.7	5.0	0.7	0	6.0	2.2	1.4	2.2	0.2	0.3	0.2	1.1	0.60
	20h45	◐	5.0	5.3	11.9	95	47	0.5	3.5	5.7	0.7	0	7.3	2.0	1.3	2.2	0.1	0.3	0.1	1.1	0.63
Petite Roer Station 40	21h30	●	5.3	6.3	11.2	89	74	6.5	7.3	9.2	1.2	0	9.5	5.8	2.0	2.6	0.9	0.4	0.1	1.2	1.17
	1h40	●	4.5	6.4	11.6	89	73	6.5	6.9	8.9	1.2	0	11.1	5.8	1.9	2.6	0.8	0.4	0.1	1.2	1.19
	6h00	☼	4.0	6.4	11.7	90	72	7.0	5.4	8.9	1.2	0	8.1	5.6	1.9	2.7	0.8	0.4	0.1	1.2	1.14
	10h15	☼	4.0	6.5	12.3	94	67	7.5	5.8	8.5	1.3	0	9.2	5.5	2.0	2.7	0.9	0.6	0.1	1.3	1.32
	14h15	☼	5.7	6.6	12.3	97	76	7.5	8.1	9.2	1.3	0	8.7	5.8	2.0	2.6	0.8	0.4	0.0	1.3	1.17
	21h15	●	6.0	6.6	11.6	93	76	7.5	3.5	9.2	1.4	0	7.3	5.8	2.1	2.8	0.8	0.4	0.1	1.3	1.17
Büllingerbach Station 47	23h30	●	4.5	6.2	12.0	92	41	2.8	2.3	4.3	1.0	0	5.7	2.2	1.4	2.3	0.5	0.2	0.0	1.6	0.63
	3h15	●	4.0	6.1	12.2	93	41	3.0	3.5	4.6	1.0	0	5.2	1.8	1.3	2.1	0.4	0.5	0.0	1.6	0.60
	7h30	☼	4.0	6.3	12.5	95	43	4.0	1.9	5.3	1.2	0	2.7	2.0	1.4	2.1	0.3	0.6	0.0	1.7	0.60
	11h40	☼	5.0	6.3	12.7	99	43	3.8	2.3	5.3	1.2	0	3.6	2.0	1.4	2.4	0.4	0.5	0.0	1.7	0.63
	15h45	☼	6.0	6.5	12.2	98	44	3.8	5.4	5.7	1.2	0	4.1	2.2	1.3	2.5	0.6	0.3	0.0	1.7	0.67
	23h45	●	4.5	6.4	12.1	93	44	4.0	0.4	5.0	1.4	0	2.5	2.2	1.5	2.2	0.3	1.8	0.0	1.8	0.61
Kolvenderbach Station 91	0h15	●	5.0	6.6	12.2	95	54	6.5	2.7	6.4	1.4	0	4.9	2.5	2.5	2.5	0.8	0.3	0.0	2.1	0.88
	4h00	●	4.5	6.6	12.2	94	55	7.3	3.9	6.0	1.5	0	5.2	2.7	2.4	2.4	0.7	0.4	0.0	2.2	0.88
	8h15	☼	4.0	6.7	12.7	97	56	7.5	1.5	7.5	1.5	0	4.4	2.5	2.4	2.5	0.8	0.4	0.0	2.1	0.90
	12h15	☼	5.0	6.7	12.6	99	56	7.8	2.3	7.5	1.5	0	5.2	2.5	2.4	2.3	0.7	0.2	0.0	2.2	0.92
	16h30	☼	6.5	6.7	12.3	99	55	7.5	3.9	7.1	1.5	0	3.0	2.4	2.4	2.4	0.8	0.3	0.0	2.2	0.85
	22h45	●	5.0	6.7	12.1	95	56	7.0	0.0	5.7	1.5	0	3.8	2.7	2.5	2.4	0.8	0.4	0.0	2.2	0.84
Helle Station 93	22h15	●	4.0	3.8	12.4	95	87	0.0	3.5	4.6	0.8	0	12.7	1.4	0.8	2.0	0.4	0.6	0.7	1.1	0.63
	2h15	●	3.5	3.9	12.9	97	85	0.0	3.1	5.3	0.8	0	10.3	1.3	0.7	2.2	0.6	0.7	0.7	1.1	0.60
	6h35	☼	3.0	3.9	12.9	95	87	0.0	3.1	5.7	0.8	0	10.0	1.5	0.7	2.0	0.4	0.7	0.7	1.1	0.61
	10h45	☼	3.5	3.9	12.8	96	91	0.0	2.7	5.7	0.8	0	10.6	1.2	0.7	2.1	0.5	0.6	0.7	1.1	0.61
	15h00	☼	4.0	3.9	12.6	96	90	0.0	1.5	5.7	0.8	0	10.7	1.5	0.8	2.0	0.4	0.6	0.7	1.1	0.62
	21h45	●	5.0	3.9	12.2	96	89	0.0	3.1	5.7	0.8	0	11.1	1.2	0.8	0.4	0.4	0.4	0.8	1.3	0.62

Tableau 5.- Variations journalières en avril 1980 (6 prélèvements par jour), de la composition chimique de l'eau dans 5 stations de type chimique différent (☼ : jour; ● : nuit).

AOUT 1980

Localisation	Heure		t° °C	pH	O_2 ppm	O_2 %	Cond. µS/cm	Alc. ppm-$CaCO_3$	Oxyd. ppm-O_2	Cl ppm	NO_3 ppm-N	PO_4 ppb-P	SO_4	Ca ppm	Mg ppm	Na ppm	K ppm	Fe ppm	Al ppm	Si ppm	Min.glob méq/l
Schwarzesvenn Station 31	11h00	☼	8.0	6.6	10.6	89	39	7.5	13.4	3.6	0.8	0	1.9	2.9	1.5	2.0	0.1	2.1	0.1	1.7	0.65
	15h45	☼	11.0	6.6	10.3	93	39	7.0	11.0	3.6	0.8	0	1.9	2.9	1.5	2.0	0.4	1.9	0.1	1.3	0.65
	19h45	☼	10.5	6.6	10.3	92	40	7.5	11.0	3.2	0.7	0	1.9	2.9	1.5	2.0	0.1	2.0	0.1	1.3	0.64
	0h45	●	8.0	6.6	10.8	91	39	7.0	9.8	3.2	0.7	0	2.5	2.9	1.5	2.0	0.2	2.1	0.1	1.4	0.64
	5h20	●	7.0	6.6	11.0	90	38	7.5	11.0	3.6	0.7	0	2.7	2.8	1.5	2.0	0.1	2.0	0.1	1.4	0.66
	10h15	☼	10.0	6.6	10.8	95	39	7.0	9.1	3.2	0.7	0	2.5	2.8	1.5	2.0	0.1	1.1	0.1	1.7	0.63
Petite Roer Station 40	10h45	☼	9.0	6.8	10.8	93	85	18.0	5.5	7.5	1.3	0	4.6	7.7	2.9	3.7	1.1	1.5	0.0	1.9	1.47
	15h15	☼	13.0	7.0	10.9	103	85	18.0	5.9	7.8	1.3	0	4.1	7.8	2.8	3.7	1.0	1.6	0.0	1.3	1.47
	19h30	☼	14.0	6.8	9.5	91	83	17.0	6.7	7.1	1.3	0	4.6	7.8	2.8	3.7	1.3	1.6	0.2	1.5	1.45
	24h10	●	10.0	6.8	8.7	77	87	17.0	7.5	7.5	1.3	0	4.6	8.0	2.9	3.8	1.4	1.5	0.0	1.7	1.47
	5h00	●	9.0	6.7	9.4	81	84	17.0	6.7	7.5	1.3	0	4.6	7.8	2.8	3.8	1.1	1.5	0.0	2.2	1.46
	9h30	☼	9.0	6.9	10.7	92	86	17.0	5.9	7.5	1.2	0	4.6	8.0	2.8	3.8	1.1	1.4	0.0	1.6	1.47
Büllingerbach Station 47	8h45	☼	7.0	6.8	11.6	95	48	8.0	2.0	3.6	1.1	0	2.5	4.8	1.8	4.1	0.5	0.9	0.1	1.9	0.89
	13h45	☼	11.0	6.8	10.5	95	42	8.0	0.4	3.6	1.1	0	2.2	3.3	1.6	2.7	0.4	0.8	0.1	2.0	0.73
	17h30	☼	14.0	6.8	10.0	96	44	8.0	0.4	3.6	1.1	0	2.7	3.0	1.6	2.9	0.5	0.9	0.1	2.1	0.74
	22h00	●	9.5	6.8	10.4	91	46	8.0	4.3	3.9	1.3	0	2.2	3.6	1.7	2.9	0.5	0.7	0.0	2.4	0.78
	3h00	●	6.0	6.7	11.2	90	48	8.0	9.8	3.6	1.3	0	2.2	3.3	1.7	2.9	0.6	0.6	0.1	2.1	0.75
	7h45	☼	7.0	6.8	11.6	95	44	8.0	8.3	3.2	1.1	0	1.9	3.1	1.6	2.8	0.5	0.7	0.0	2.0	0.71
Kolvenderbach Station 91	9h45	☼	7.5	7.0	11.7	97	58	13.0	5.9	5.0	1.1	0	3.8	3.7	2.9	3.2	0.9	0.3	0.1	3.1	1.09
	14h15	☼	10.5	6.9	11.0	98	60	13.5	6.3	5.3	1.1	0	3.6	3.8	2.9	3.2	1.0	0.3	0.1	2.3	1.09
	18h30	☼	11.0	6.8	10.4	94	58	13.0	7.9	4.6	1.1	0	4.1	3.7	2.8	3.2	1.0	0.2	0.1	2.5	1.06
	23h20	●	9.0	6.9	9.9	85	60	13.0	7.5	4.6	1.1	0	3.8	3.7	2.9	3.2	1.0	0.1	0.0	2.8	1.06
	4h00	●	7.0	6.8	11.0	90	59	13.0	6.7	4.6	1.1	0	3.8	1.6	2.9	3.2	1.0	0.2	0.0	2.9	1.06
	8h30	☼	8.0	7.0	11.3	95	59	13.0	7.1	4.6	1.1	0	3.8	3.7	3.0	3.2	0.9	0.1	0.0	2.6	1.06
Helle Station 93	11h45	☼	10.0	4.3	11.3	100	46	0.0	15.7	2.8	0.4	0	10.0	1.7	1.1	1.9	0.3	1.2	0.5	1.9	0.55
	16h45	☼	14.0	4.3	10.2	98	48	0.0	7.5	2.8	0.3	0	9.5	2.0	1.2	1.9	0.3	1.2	0.5	1.1	0.56
	20h20	☼	12.0	4.3	9.9	91	49	0.0	8.3	3.2	0.3	0	9.5	1.6	1.1	1.9	0.3	0.9	0.5	2.6	0.55
	1h30	●	9.0	4.3	10.0	86	49	0.0	5.5	3.2	0.4	0	9.2	1.9	1.2	1.9	0.2	0.2	1.5	1.9	0.56
	6h00	●	8.0	4.3	10.2	86	47	0.0	9.4	3.2	0.3	0	9.7	1.7	1.1	1.9	0.3	1.1	0.5	2.0	0.56
	10h45	☼	10.5	4.4	10.8	97	48	0.0	13.0	3.2	0.3	0	8.9	1.6	1.1	1.9	0.2	1.1	0.5	2.1	0.54

Tableau 6.- Variations journalières en août 1980 (6 prélèvements par jour), de la composition chimique de l'eau dans 5 stations de type chimique différent (☼ : jour; ● : nuit).

Substrat géologique	Nombre de rivières (R) et de mesures (M)	pH	alcalinité (ppm-$CaCO_3$)	Cl^- ppm	$SO_4^{=}$ ppm	Ca^{++} ppm	Mg^{++} ppm	Na^+ ppm	K^+ ppm	fer ppm	Si ppm	minéralisation globale (méq/l)
Revinien 1-2	13 R, 91 M	3,9	0,0	3,9	16,3	2,8	1,3	2,3	0,3	0,7	1,6	0,80
Revinien 3	4 R, 7 M	5,0	1,3	5,7	11,0	2,8	1,5	3,0	0,8	0,7	2,1	0,83
Salmien	2 R, 40 M	6,1	4,2	4,9	6,5	2,6	1,3	2,7	0,3	0,6	2,1	0,72
Siegenien 1	1 R, 14 M	6,4	3,9	4,7	10,5	3,4	1,8	2,8	0,5	0,2	2,3	0,88
Siegenien 2	1 R, 23 M	6,7	6,2	3,5	3,7	2,5	1,3	2,1	0,4	0,3	2,1	0,63
Siegenien 3	3 R, 15 M	6,8	5,9	3,5	5,4	2,7	1,4	2,5	0,3	0,4	1,9	0,70
Emsien 1	8 R, 48 M	7,1	13,1	5,5	4,9	3,9	3,0	3,1	1,0	0,2	2,7	1,12
Gedinnien/ Siegenien 1	1 R, 6 M	7,0	11,3	6,8	7,7	6,8	2,3	3,3	0,8	0,6	1,5	1,27
Eau de pluie	19 M	4,0	0,2	2,5	5,4	0,9	0,2	0,9	0,5	0,1	0,1	0,30

TABLEAU 7.- Valeurs moyennes sur 2 ou 3 ans des caractéristiques physico-chimiques des eaux de rivières au niveau de chaque assise géologique. En fin de tableau, la première annexe correspond à une rivière dont les sources se répartissent pour moitié sur le Gedinnien et le Siegenien 1; la seconde annexe donne la composition chimique moyenne sur 2 ans de l'eau de pluie.

3.2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux au niveau de chaque assise géologique (d'après LECLERCQ, 1984)

3.2.1. Valeurs moyennes (tableau 7)

Le calcul de valeurs moyennes, à partir de plusieurs rivières coulant sur un même substrat géologique, fournit des renseignements intéressants. Les écarts-types obtenus pour chaque paramètre sont du même ordre de grandeur, que l'on étudie trimestriellement des stations situées sur plusieurs rivières ou mensuellement une station sur une seule rivière. Ceci semble indiquer une certaine homogénéité de la composition chimique des eaux au niveau d'une assise géologique. Cette observation autorise la comparaison des valeurs moyennes et extrêmes obtenues par ces deux voies. Dans le tableau, toutes les rivières considérées sont localisées sur une seule assise sauf pour le Gedinnien où nous n'avons pas trouvé de référence valable. A titre indicatif, nous donnerons en fin de tableau, les résultats pour une rivière dont les sources sont pour moitié sur Gedinnien et pour l'autre moitié sur Siegenien 1. A partir des valeurs observées sur Siegenien 1, et par comparaison avec 2 prélèvements dans 2 rivières coulant sur Gedinnien, mais légèrement contaminées par des phosphates, nous pourrons avoir une idée relative des caractéristiques des eaux sur cette assise.

Les caractéristiques propres à chaque assise ressortiront nettement des diagrammes ioniques.

D'une façon générale, les rivières étudiées sont oligotrophes à mésotrophes : la minéralisation globale moyenne obtenue par addition des principaux ions (HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{--}, Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+, K^+) varie entre 0.63 méq/l sur Siegenien 2 et 1.12 méq/l sur Emsien 1. La rivière "mixte" Gd-S1 ayant une minéralisation de 1.27 méq/l, on peut estimer à 1.70 méq/l la valeur moyenne sur Gedinnien, valeur confirmée par les 2 points de comparaison mentionnés plus haut. Cette richesse relative du Gedinnien apparaît également pour le calcium (valeur estimée : environ 10 ppm soit 3 fois plus élevée que pour les autres assises) et se traduit par une végétation algale particulière et une végétation phanérogamique exubérante.

En ne tenant pas compte du Gedinnien, qui constitue donc un hiatus dans la série stratigraphique, on notera l'augmentation progressive des valeurs de pH et d'alcalinité et la réduction des teneurs en sulfates et en fer lorsqu'on passe des terrains du Cambro-Ordovicien à ceux du Dévonien inférieur.

L'abondance des sulfates, l'absence ou la faible alcalinité et l'acidité souvent prononcée des eaux sur Revinien en font des eaux dystrophes, à faible productivité, peu propices à la vie animale et végétale.

Par contre, l'isovalence et la faible acidité des eaux des terrains du Dévonien inférieur expliquent des productivités végétales et piscicoles parfois étonnantes, eu égard à leur faible charge ionique, plus faible même que sur le Revinien.

Entre les eaux acides du Revinien 1 et 2 et les eaux neutres à légèrement basiques de l'Emsien 1, existent des intermédiaires dont les plus remarquables sont les eaux des assises du Revinien 3 et du Salmien dans lesquelles se développent des groupements algaux très particuliers.

Les eaux coulant sur le Siegenien 1 constituent un autre type d'intermédiaire où l'on trouve simultanément des teneurs en sulfates comme sur le Revinien 3 et des teneurs moyennes en calcium plus élevées que dans le Cambro-Ordovicien ou le Siegenien 2 et 3. Cette particularité est peut-être liée à la présence, rare il est vrai, de schistes calcaires parmi les roches du Siegenien 1 (qui font suite, rappelons-le, aux roches à nodules carbonatés du Gedinnien).

Les eaux drainant le Siegenien 2 et 3 ont des caractéristiques semblables et sont les moins minéralisées (0.63 et 0.70 méq/l en moyenne).

Les ruisseaux de l'Emsien 1 sont plutôt mésotrophes, avec une minéralisation globale moyenne de 1.12 méq/l et une alcalinité pouvant atteindre 37 ppm de $CaCO_3$.

3.2.2. Diagrammes ioniques (figure 8)

Les résultats moyens du tableau 7 ont servi au tracé de diagrammes ioniques selon la méthode de KUFFERATH (1951). Les valeurs moyennes des 6 principaux paramètres (HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{--}, Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+, K^+), exprimées en méq/l, ont été portées sur 6 axes principaux et la moyenne de ces 6 valeurs sur 6 axes bissecteurs des précédents. La surface du diagramme est, par construction, proportionnelle à la minéralisation globale.

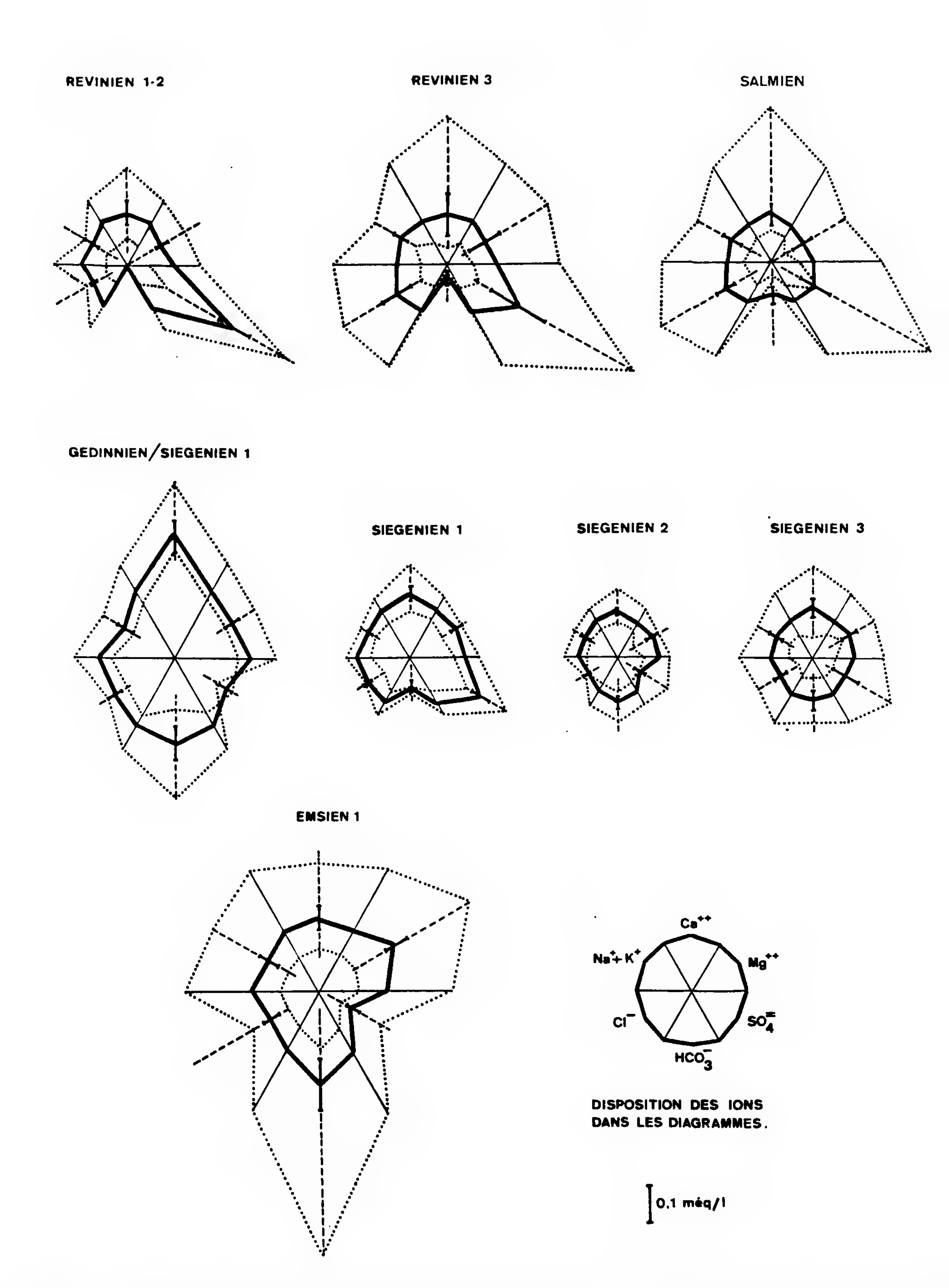


Figure 8.- Diagrammes ioniques moyens (traits épais) et extrêmes (traits pointillés) complétés pour chaque paramètres par les écarts types (traits continus) et les valeurs extrêmes (traits interrompus). Les assises géologiques sont disposées dans l'ordre stratigraphique.

Les diagrammes moyens sont complétés, pour chaque paramètre, par l'écart type (symbolisé par un trait plein prolongé de part et d'autre par un trait interrompu qui correspond aux valeurs extrêmes enregistrées). Enfin, nous avons également figuré en traits pointillés les diagrammes de minéralisation minimale et maximale pour la ou les stations considérées pour chaque assise.

Cette représentation permet de visualiser les caractéristiques propres aux différentes assises et l'amplitude de variation de la composition chimique dans son ensemble et de chaque paramètre en particulier.

3.2.2.1. Terrains cambro-ordoviciens (Revinien et Salmien)

Les roches de ces terrains sont constituées de quartzites et de quartzophyllades riches en sulfure de fer sous forme de cristaux de pyrite. Bien que les endroits où l'on peut observer des macrocristaux soient relativement localisés, l'examen d'une lame mince montre l'abondance de microcristaux.

BIROT (1976) fait mention de 0.05 à 0.22 g de soufre pour 100 g de roches pour les phyllades de Rimogne (Devillien ardennais).

VOISIN (1981) signale la présence de minéraux sulfatés dans les phyllades cambriens de la vallée de la Dyle et dans les phyllades pyritifères du Revinien moyen.

Les eaux coulant sur les roches du Cambro-Ordovicien se caractérisent en effet par des teneurs élevées en sulfates mais également par l'absence de bicarbonates et une acidité prononcée due à des acides forts lorsque le pH est inférieur à 4 ce qui est fréquemment le cas chez nous.

A ce propos, URBAIN (1934) explique le mécanisme de l'oxydation de la pyrite qui donne lieu à la formation d'acide sulfurique et qui peut se produire jusqu'à 100 m de profondeur.

L'acide sulfurique produit devrait normalement être neutralisé par les carbonates présents dans la roche ou dans le sol.

Il convient ici de distinguer ce qui se passe au niveau des 3 assises du Cambro-Ordovicien. Le pH très acide (3.9), l'alcalinité toujours nulle et les teneurs faibles en calcium (2.8 ppm), des eaux coulant sur le Revinien 2 sem-

blent indiquer que le stock de carbonates (s'il existe dans la roche ou le sol) n'est pas suffisant pour assurer la neutralisation de tout l'acide sulfurique libéré auquel viennent s'ajouter les acides humiques provenant principalement de la végétation turfigène et de la tourbe présente parfois sur plusieurs mètres d'épaisseur et sur de grandes superficies. Peut-être faut-il encore ajouter à cela l'acidité de la pluie (pH souvent inférieur à 4, atteignant au minimum 3.4 !) qui, associée à des teneurs étonnantes de sulfates, fait inévitablement penser à des pluies sulfuriques qui auraient leur origine dans la région industrielle liégeoise distante pourtant de 60 km. Leur influence n'est sans doute pas négligeable dans une région où la pluviosité varie entre 1200 et 1800 mm/an.

Dans l'ensemble, le diagramme moyen sur Revinien 3 est proche de celui sur Revinien 2 mais on note clairement la régression des teneurs en sulfates et la présence d'une alcalinité faible, ce qui se traduit par un arrondissement du diagramme. Cette tendance est très nette au niveau du Salmien où l'alcalinité moyenne est 3 fois plus élevée que dans le cas précédent. Néanmoins, les diagrammes extrêmes et hivernaux dans le Cambro-Ordovicien ont tous une silhouette commune, marquée par des teneurs importantes en sulfates par rapport aux autres éléments. Ce n'est qu'en été que les teneurs en sulfates diminuent en même temps qu'augmente le pH.

3.2.2.2. Terrains du Dévonien inférieur

D'une façon générale, les roches du Dévonien inférieur sont des grès, des quartzites et des schistes plus ou moins phylladeux. Localement, comme signalé plus haut, on peut trouver des bancs à nodules carbonatés, surtout dans le Gedinnien, moins dans l'Emsien 1. Ces terrains, couverts de limons éoliens à charge caillouteuse plus riche en éléments échangeables, ont permis l'installation de prairies aujourd'hui amendées artificiellement et le développement de l'élevage et de l'habitat humain qui sont autant de sources d'eutrophisation des milieux aquatiques. Ici, il convient d'être extrêmement prudent lors de la recherche de ruisseaux présentant des caractéristiques encore naturelles.

- Gedinnien

Nous avons vu que la seule rivière valable était alimentée pour moitié par les terrains du Gedinnien et du Siegenien 1 et que l'on pouvait considérer ces

résultats comme une moyenne entre les caractéristiques de ces 2 assises. Le diagramme moyen reflète bien l'individualité de ces eaux, toujours plus minéralisées et plus riches en calcium. Il diffère du diagramme de l'Emsien 1 par la teneur en calcium toujours supérieure aux bicarbonates.

En fonction de 2 prélèvements ponctuels sur des rivières uniquement situées sur Gedinnien, on peut estimer que les teneurs en calcium, en bicarbonates et en sulfates sont de 40 % plus élevées sur cette assise que dans l'exemple mixte choisi ici.

- Siegenien

Cet étage est subdivisé en trois assises : Siegenien inférieur (1), moyen (2) et supérieur (3).

Le Siegenien 1 donne naissance à des eaux manifestement différentes, les diagrammes moyen et extrêmes étant très proches du diagramme moyen des eaux sur Revinien 3. Cette similitude correspond à la présence simultanée de sulfates en quantité légèrement excédentaire et d'une faible alcalinité.

A partir du Siegenien 2, cette particularité disparaît définitivement : le diagramme s'arrondit par diminution des sulfates et augmentation de l'alcalinité qui ne sera plus jamais déficitaire.

- Emsien

Seul l'Emsien inférieur (1), constitué de quartzophyllades et de grès quartzitiques, est situé dans les limites de la région étudiée.

Les diagrammes moyen et extrêmes suffisent à démontrer l'individualité des eaux coulant sur ce terrain : l'allongement vertical du diagramme est dû à des teneurs élevées en bicarbonates (jusqu'à 37 ppm-$CaCO_3$). La minéralisation globale élevée (de 0.66 à 2.98 méq/l) est de l'ordre de celle rencontrée dans le Revinien 3, mais les proportions très différentes des ions donnent lieu à des groupements végétaux extrêmement différents. Cette assise semble aussi se caractériser par une teneur toujours élevée en magnésium. On est cependant encore loin de la minéralisation d'une rivière calcaire où l'on atteint fréquemment 6 méq/l.

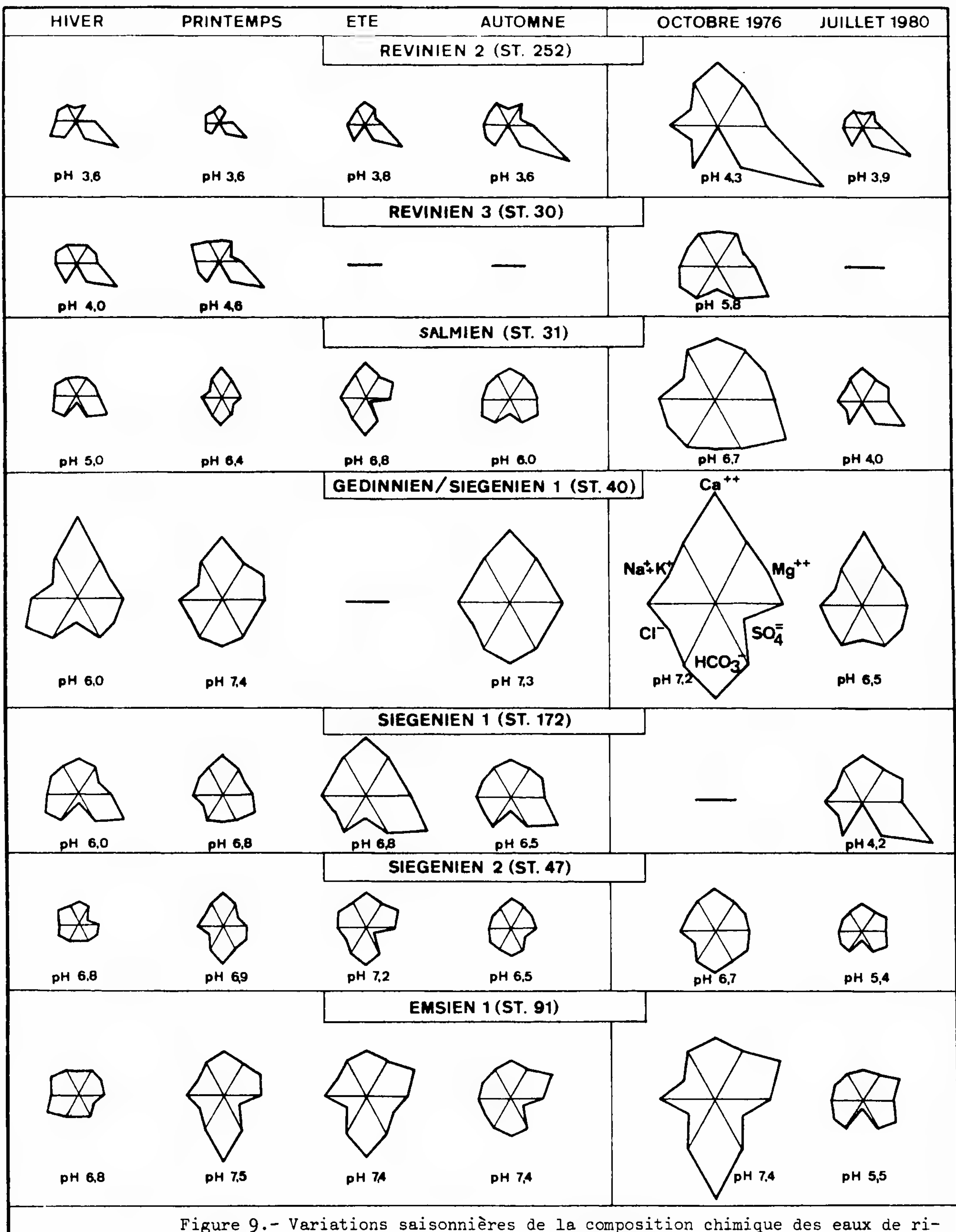


Figure 9.- Variations saisonnières de la composition chimique des eaux de rivières au niveau de chaque assise géologique. Prospection en avril, juillet, septembre et novembre 1978 pour les stations (st.) 252 (Helle), 31 (Schwarzesvenn), 172 (Hündelsbach), 47 (Büllingerbach), 91 (Kolvenderbach); en avril, juillet et octobre 1977 pour la st. 40 (Petite Roer); en mars et juin 1976 pour la st. 30 (Scheidbach). Colonnes 5 et 6: diagrammes de périodes exceptionnelles d'étiage et de crue (octobre 1976 et juillet 1980). En bas à gauche: composition chimique moyenne sur 2 ans de l'eau de pluie.

3.2.3. Variations saisonnières au niveau des différentes assises (figure 9)

Nous venons de voir que le calcul des valeurs moyennes et le tracé de diagrammes moyens font nettement ressortir les particularités de chaque assise géologique.

Il convient de ne pas perdre de vue que cette méthode, intéressante pour établir une classification, masque quelque peu une situation plus complexe.

En effet, il existe des variations saisonnières dont le mécanisme est difficile à saisir et qui provoquent une modification saisonnière de la forme des diagrammes ou de la minéralisation globale suivant les circonstances climatiques.

Les paramètres qui semblent prépondérants pour expliquer ces variations de la composition chimique des eaux sont la pluviosité et la température.

Si les variations de température sont assez bien reproduites chaque année, la pluviosité, par contre, présente des irrégularités qui ont une incidence directe et rapide sur des rivières de petite dimension. Il est donc difficile d'établir un schéma généralisable pour décrire les variations saisonnières.

Pour les illustrer, nous avons choisi une année normale (1978), sans sécheresse ou pluviosité exceptionnelles, une période d'étiage et une période de crues très marquées (octobre 1976 et juillet 1980). Nous nous limiterons ici à la description des variations saisonnières pour les principaux paramètres et nous tenterons de les expliquer plus loin (chapitre 3.3.).

Le Revinien 2, extrêmement pauvre, ne montre aucune variation et les bicarbonates sont toujours absents.

Pour les autres assises, les bicarbonates présentent, dans des conditions normales, un cycle régulier et répétitif, parfois interrompu en cas de précipitations abondantes. Ce cycle est caractérisé :

- par une apparition de teneurs estivales faibles sur Revinien 3 (non visible sur la figure 9 pour la station choisie car série incomplète, 1 ppm-$CaCO_3$ pour d'autres stations), plus importantes sur le Salmien;

- par une augmentation des teneurs estivales pour les autres assises.

La teneur en sulfates diminue parallèlement. Ces deux changements expliquent la forme des diagrammes, plus arrondis ou étirés verticalement suivant la teneur en bicarbonates. Comme ils se produisent en sens opposé, la minéralisation globale varie très peu dans la plupart des cas.

Une seule fois, au cours de notre période d'étude, une augmentation importante de la minéralisation s'est produite, pendant la sécheresse exceptionnelle d'octobre 1976 mais les proportions ioniques se sont peu modifiées par rapport à une arrière-saison normale.

Des renseignements complémentaires précieux ont été fournis par une période de crues exceptionnelles en juillet 1980. Le cycle saisonnier fut rompu : le pH et l'alcalinité atteignirent des valeurs très basses. A ce moment, les bicarbonates ont complètement disparu au niveau de toutes les assises sauf sur Siegenien 2, 3 (non figuré) et sur Emsien 1 où ils ont fortement diminué. Les diagrammes sur Siegenien 1 se confondaient avec ceux du Revinien. Mais il est remarquable de constater que, malgré l'apport massif d'eau météorique, il n'y a pas eu de diminution sensible de la minéralisation globale.

Cette observation est à mettre en relation avec la composition chimique de l'eau de pluie, semblable à celle des rivières du Revinien 2, avec notamment une alcalinité nulle et des teneurs en sulfates étonnantes. Nous pensons que, dans des rivières aussi peu minéralisées, le simple effet de dilution suffit à expliquer la diminution du pH et de l'alcalinité et l'augmentation des sulfates au cours des périodes de précipitations abondantes.

3.2.4. Conclusions

Des analyses chimiques répétées dans des ruisseaux coulant sur des substrats géologiques bien définis du massif Ardennais ont permis de décrire différents types d'eau distincts, régulièrement répartis le long de l'échelle stratigraphique selon un gradient positif de pH et d'alcalinité et un gradient négatif de sulfates.

Le tracé de diagrammes ioniques moyens a mis en évidence les caractéristiques propres aux rivières des différentes assises du Cambro-Ordovicien et du Dévonien

inférieur, et ce, en dépit d'une lithologie parfois variable pour une même assise.

Ensuite, nous nous sommes attachés à suivre en détail les variations saisonnières, généralement mal connues dans les eaux courantes. Il apparaît ainsi qu'en fonction de la pluviosité (et de la température), il existe un cycle saisonnier des bicarbonates et des sulfates. Ces phénomènes étant opposés, la minéralisation reste stable.

Des données relatives à des périodes très sèches ou très pluvieuses ont montré que, dans ces conditions extrêmes, il peut y avoir une modification importante de la minéralisation et des proportions ioniques. Avant de définir les caractéristiques d'une rivière, il s'avère donc prudent de réaliser plusieurs prélèvements dans des conditions météorologiques variées.

Ces données permettent en outre de définir avec exactitude l'amplitude réelle des variations et de mieux cerner les caractères propres à chaque assise. A ce propos, nous avons montré le caractère intermédiaire des assises Revinien 3, Salmien et Siegenien 1, situées entre l'assise Revinien 2 du Cambro-Ordovicien et les assises Siegenien 2, 3 et Emsien 1 du Dévonien inférieur.

3.3. Transformation en classes des principaux paramètres physico-chimiques et étude de leurs variations saisonnières et interannuelles.

3.3.1. Méthode de transformation en classes

Nous avons dit que 430 prélèvements effectués dans 72 stations pouvaient être retenus pour établir une typologie de référence.

Pour ce faire, nous avons utilisé les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques par station, après les avoir réparties en classes.

Dans la littérature, la répartition des données en classes est rarement réalisée de façon standardisée et elle dépend, du reste, de la gamme de variation des paramètres dans la région étudiée. L'amplitude choisie pour chaque classe conditionne évidemment la précision du résultat final et doit tenir compte de la précision des méthodes d'analyse.

Dans un souci d'objectivité, nous avons basé notre répartition en classes sur des tests statistiques qui nous permettent de mettre en évidence des différences significatives entre les valeurs moyennes des paramètres dans une série de stations prospectées au moins 3 fois par an (printemps, été, automne) et souvent mensuellement. Nous avons ainsi retenu :

- en 1976 : 11 stations (9, 31, 39, 43, 47, 63, 91, 119, 121, 130, 252), 3 prélèvements par station;
- en 1977 : 10 stations (9, 31, 47, 63, 91, 121, 130, 157, 170, 252), 9 prélèvements par station;
- en 1978 : 10 stations (31, 39, 43, 47, 91, 119, 121, 172, 176, 252), 10 prélèvements par station;

soit au total 15 stations différentes (certaines suivies pendant les 3 années) et 223 prélèvements. Ces 15 stations couvrent toute la gamme physico-chimique observée dans les eaux naturelles de la région. Les résultats des analyses pour chaque paramètre figurent dans les rubriques 3.3.2. à 3.3.17., y compris, à titre indicatif, les résultats de juillet 1980 (8007) lors de crues exceptionnelles.

Ces prélèvements fréquents nous permettent d'analyser les variations saisonnières et annuelles des différents paramètres. Pour les variations saisonnières, seule la méthode graphique sera utilisée, aucun test statistique ne pouvant être employé pour caractériser les variations d'une variable aléatoire avec une seule mesure.

Ces mêmes tableaux, indiquant pour chaque station (facteur fixe) la valeur du paramètre au cours du temps (facteur aléatoire), correspondent au modèle croisé mixte avec une seule mesure par échantillon (généralisation du test de t de Student pour observations pairées). On peut dans ces conditions, appliquer le test d'analyse de la variance en "blocs aléatoires" aux valeurs moyennes annuelles par station et par paramètre pour voir si ces stations sont équivalentes.

Dans le cas de différences significatives, il reste à faire des contrastes (comparaison des moyennes 2 à 2) pour localiser ces différences.

Nous avons appliqué ces 2 types de tests séparément aux résultats de 1976, 1977 et 1978 afin d'avoir le même nombre de mesures pour chaque station (soit respectivement 3, 9 et 10 mesures).

Pour l'analyse de la variance en blocs aléatoires, nous avons utilisé le programme "Analysis of variance, equal size mixed models" (department of Biomathematics, University of California, Los Angeles). Il calcule :

- la SCE_{mois} et le CM_{mois} (ddl = n-1)
- la $SCE_{stations}$ et le $CM_{stations}$ (ddl = k-1)
- la $SCE_{interaction}$ et le $CM_{interaction}$ [ddl = (n-1) (k-1)]

où SCE = somme des carrés des écarts
CM = carré moyen
ddl = degré de liberté
n = nombre de mois (donc de séries de mesures)
k = nombre de stations.

Ensuite, il détermine $F = \frac{CM_{stations}}{CM_{interaction}}$ qui est une variable aléatoire de Fisher-Snedecor avec (k-1) degrés de liberté. Il y a rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes par station au niveau α si la valeur observée de F est supérieure à $F_{1-\alpha}$. Le programme donne le seuil de probabilité exact correspondant à la valeur observée de F. Nous considérons qu'il existe des différences significatives en dessous du seuil classique de 5 %.

Pour les contrastes à utiliser dans le cas de différences significatives entre moyennes, FEYTMANS (1984) signale que ces tests sont beaucoup moins puissants et qu'il importe de confronter plusieurs méthodes. Il recommande l'utilisation de 4 méthodes :

Stations rangées par ordre croissant de la valeur moyenne générale du paramètre

N°St											Classe

a b
c d

a = PPDS
b = PPDS (S)
c = PPAS (T)
d = PPAS (NK)

Classe
1
2
3
4
5

Figure 10.- Exemple de la représentation adoptée pour rassembler les résultats des contrastes par les 4 méthodes exposées dans le texte (PPDS, $PPDS_{(S)}$, $PPAS_{(T)}$, $PPAS_{(NK)}$) et répartition des valeurs en classes.

- la plus petite différence significative = PPDS
- la plus petite différence significative, méthode de Scheffé = $PPDS_{(S)}$
- la plus petite amplitude significative , méthode de Tukey = $PPAS_{(T)}$
- la plus petite amplitude significative, méthode de Newman et Keuls = $PPAS_{(NK)}$

$$PPDS = t_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{CM_{interaction} \cdot \frac{2}{n}}$$ (variable aléatoire de Student)

$$PPDS_{(S)} = \sqrt{\frac{2(k-1)}{n} CM_{interaction} \cdot F_{1-\alpha}}$$

(variable aléatoire de Fisher-Snedecor pour k-1 et (k-1) (n-1) degrés de liberté)

$$PPAS_{(T)} = q_{1-\alpha}\sqrt{\frac{CM_{interaction}}{n}}$$

(tables des valeurs critiques du test de Newman et Keuls et du test de Tukey pour k et (k-1)(n-1) degrés de liberté)

$PPAS_{(NK)}$: idem mais pour (s+1) et (k-1)(n-1) degrés de liberté, où s = différence de rang entre deux moyennes quand celles-ci ont été rangées par ordre croissant.

Les PPDS, $PPDS_{(S)}$ et $PPAS_{(T)}$ sont les mêmes pour toutes les comparaisons. La $PPAS_{(NK)}$ dépend de la différence de rang de deux moyennes observées.

Les méthodes de Tukey et de Newman et Keuls ne sont applicables que dans le cas d'échantillons de même taille (même nombre de mesures pour chaque station, ce qui est le cas ici).

Le seuil de probabilité α a été fixé à 5 % pour les 4 tests.

Les résultats des contrastes sont consignés dans une grille (dont nous donnons un exemple ci-contre, figure 10) où chaque case est subdivisée en 4 zones correspondant aux 4 tests : la zone est noircie quand le contraste est significatif.

On obtient donc pour chaque paramètre une grille par année quand l'analyse de la variance a révélé au moins une différence significative.

Dans une dernière étape, nous avons rassemblé pour chaque paramètre, les résultats des tests et les valeurs moyennes et extrêmes pour chaque station pendant les 3 années dans un tableau synthétique qui nous a servi à établir le nombre de classes (évidemment variable suivant les paramètres) et leurs

limites. Pour les valeurs extrêmes, il nous a paru important de distinguer les minimums et maximums dans des conditions climatiques normales et dans des conditions exceptionnelles (étiage d'octobre 1976 et crues, notamment celle de juillet 1980). Ces résultats figurent dans les tableaux 14, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49 et 52.

Les résultats moyens concernant les 72 stations ont été ensuite transformés en fonction de ces classes et rassemblés dans un tableau typologique basé sur les paramètres les plus importants (tableau 58).

Nous allons à présent passer en revue les différents paramètres physico-chimiques en insistant tout particulièrement sur le pH, l'alcalinité et la température.

3.3.2. Température de l'eau (°C)

Remarques préliminaires

Les ruisseaux étudiés sont généralement de petit gabarit : 1 à 10 m de largeur, 10 à 50 cm de profondeur. Le courant est souvent rapide.

Ces particularités morphométriques font que la température instantanée, mesurée dans les différentes stations lors des campagnes de prélèvements, est fortement tributaire de l'ensoleillement direct. Dans la mesure du possible, nous avons essayé de prélever dans des zones équivalentes généralement assez découvertes : les variations de température risquent en effet d'être assez importantes quand on passe d'un milieu ouvert à un milieu forestier.

Les prélèvements ont été réalisés entre 9h00 et 19h00 dans différentes stations. Le moment de la journée est un second facteur de variabilité dans les résultats obtenus. En effet, les prélèvements horaires effectués en août 1980 montrent un écart maximum de 4°C entre 9h00 et 19h00. En période froide (avril 1980), cet écart est plus réduit (1.5°C). Ces écarts importants sont le reflet de la vitesse de variation de la température de l'eau dans de petites rivières.

Il apparaît donc hasardeux de rechercher à partir de ces mesures instantanées, un gradiant altitudinal de température d'amont vers l'aval, même si intuitivement, ce gradient existe. Il faudrait pour cela que les températures soient mesurées au même moment dans différentes stations comparables, réparties sur le cours d'eau.

Néanmoins, en acceptant ces sources de variabilité, nous montrerons que les variations saisonnières ressortent bien de ces mesures instantanées, qu'elles sont bien corrélées avec la température moyenne de l'air et qu'il est parfois possible de corréler les températures moyennes annuelles par station avec l'altitude et l'orientation majeure du bassin versant.

Tests statistiques sur l'effet station (tableaux 8 et 9)

Pour 1976 et 1978, le test de l'analyse de la variance n'est pas significatif (seuils de probabilité très élevés de 50.35 et 45.72 %, tableau 9). Pour 1977, le seuil de 2.6 % indique qu'il existe au moins une température moyenne significativement différente des autres.

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	4.0	4.0	5.0	5.0	9.5	7.5	9.0	4.0	5.0	6.0	****	****	****	****	5.0	5.7	*1.0*
7606	10.[illegible]	12.5	13.0	10.6	15.5	9.7	16.3	17.4	14.7	20.8	****	****	****	****	11.9	13.9	*3.5*
7610	7.0	8.0	8.1	6.8	6.0	12.2	5.4	6.2	5.8	9.2	8.0	****	****	****	5.5	7.4	*1.9*
7704	3.3	5.0	1.2	3.5	4.5	5.0	5.4	6.8	6.2	5.5	6.6	5.9	4.2	****	7.4	5.5	*1.1*
7705	7.4	6.7	****	****	9.2	8.4	10.8	****	9.6	10.1	11.0	9.3	****	****	7.4	9.2	*1.5*
7706	7.2	6.9	****	****	8.7	8.4	9.6	****	8.2	9.0	9.2	8.6	****	****	7.2	8.0	*1.0*
7707	15.0	14.9	16.0	13.7	12.5	15.0	14.3	12.4	12.0	17.1	17.1	15.4	13.7	16.6	15.5	14.9	*1.6*
7727	12.6	12.0	****	****	17.7	13.2	13.2	****	13.7	12.6	13.7	12.0	****	****	13.2	13.4	*1.6*
7708	11.5	11.5	****	****	10.5	12.1	11.2	****	10.0	12.0	12.0	12.8	****	****	11.2	11.5	*0.8*
7709	8.4	7.0	****	****	8.6	9.2	9.9	****	8.7	9.3	9.7	9.6	****	****	8.2	8.8	*0.6*
7710	6.4	8.0	7.5	8.6	5.4	9.9	3.8	5.5	6.3	9.8	6.6	10.2	8.4	10.0	7.0	7.2	*2.0*
7711	5.2	3.7	****	****	3.7	5.1	4.7	****	4.6	5.2	5.5	5.6	****	****	4.7	4.8	*0.7*
7803	****	2.6	4.6	3.0	4.2	****	5.5	5.2	5.8	****	****	****	3.4	2.1	3.3	4.0	*1.3*
7804	****	6.6	5.0	5.0	6.6	5.0	6.9	6.1	6.9	4.0	****	****	5.2	2.9	4.8	5.6	*1.3*
7805	****	14.0	10.4	9.0	12.5	****	10.0	9.3	9.3	****	****	****	8.2	8.8	9.0	10.1	*1.8*
7806	****	15.0	17.5	13.1	12.4	****	14.5	11.4	12.2	****	****	****	15.3	13.0	12.0	13.7	*2.0*
7007	****	9.9	10.7	12.0	12.4	10.2	11.1	9.6	10.0	9.9	****	****	10.8	10.7	12.5	11.0	*1.0*
7808	****	14.0	16.0	15.0	13.0	****	14.5	13.0	12.8	****	****	****	12.4	16.8	17.4	14.5	*1.8*
7809	****	10.7	12.9	11.6	12.5	9.8	11.9	10.2	10.4	9.5	****	****	10.0	11.8	10.9	11.3	*1.0*
7810	****	9.6	8.9	8.8	9.5	****	9.3	3.9	9.0	****	****	****	8.4	9.5	8.6	8.9	*0.4*
7811	****	7.5	7.1	7.4	7.6	9.0	7.4	6.9	7.4	4.0	****	****	7.7	6.5	7.8	7.3	*0.4*
7812	****	2.5	1.6	2.3	3.3	****	4.6	4.7	5.2	****	****	****	3.7	3.8	2.1	3.5	*1.3*
7904	****	3.5	7.2	5.0	7.7	****	7.0	7.5	7.2	****	****	****	8.0	6.9	6.0	7.2	*0.8*
8007	14.5	11.0	15.0	13.2	10.8	12.4	10.4	11.7	11.2	11.2	12.0	10.8	11.2	10.2	14.0	12.0	*1.5*
x̄ et s																x̄ générale	
1976	7.3 *3.5*	8.2 *4.3*	8.7 *4.0*	7.5 *3.0*	10.6 *4.5*	9.5 *2.4*	9.9 *5.7*	9.2 *7.2*	8.5 *5.4*	12.0 *7.8*	****	****	****	****	7.5 *3.8*	9.0 *1.5*	
1977	8.6 *3.8*	8.7 *3.5*	(8.2) *(7.4)*	(8.6) *(5.1)*	8.8 *4.4*	9.5 *3.4*	9.0 *3.7*	(8.2) *(3.7)*	8.8 *2.9*	10.1 *3.6*	10.2 *3.8*	9.9 *3.2*	(8.8) *(4.8)*	****	9.1 *3.5*	9.0 *0.7*	
1978	****	9.2 *4.6*	9.5 *5.1*	8.7 *4.3*	9.5 *3.6*	(8.5) *2.4*	9.6 *3.6*	8.5 *2.7*	8.9 *2.6*	(7.6) *2.5*	****	****	8.5 *3.8*	8.6 *4.8*	8.8 *4.6*	8.8 *0.6*	

Tableau 8.- Variations stationnelles et saisonnières de la température pour 1976-77-78

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuellles et écarts types (en italiques)
entre parenthèses : moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	407.470	2	203.7348		
station	63.156	10	6.3156	0.96	50.35
ms	131.357	20	6.5678		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	934.342	8	116.7928		
station	29.205	9	3.2450	2.28	2.62
ms	102.582	72	1.4248		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	1326.816	9	147.4240		
station	15.614	9	1.7349	0.99	45.72
ms	142.358	81	1.7575		

Tableau 9.- Analyse de la variance sur le tableau 8. Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles de la température.

	9	31	47	121	91	252	63	170	130	157
9										
31										
47										
121										
91										
252										
63										
170	■	■								
130	■	■	■	■						
157	■	■	■	■	■					

Figure 11.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes de la température en 1976, 1977 et 1978.

Seuls quelques contrastes significatifs au seuil de 5 % sont décelés par la seule méthode de la PPDS et concernent les stations 170, 130 et 157 (figure 11).

Ces résultats ne permettent donc pas de conclure à un effet station significatif et il n'est donc pas possible de distinguer plusieurs classes de température.

Variations annuelles et interannuelles (tableau 8)

Les variations interannuelles de la température de l'eau sont faibles. La moyenne annuelle obtenue à partir de toutes les mesures figurant dans le tableau 8 est très stable : 9°C en 1976, 9°C en 1977 et 8.8°C en 1978. Cette stabilité confirme que l'effet station est faible, que les 3 assortiments de stations sont équivalents pour ce paramètre et que le régime thermique a été très semblable pendant ces trois années.

Les températures instantanées de chaque série de prélèvements ont servi au calcul d'une température moyenne par période de prélèvement (tableau 8, avant-dernière colonne).

Les écarts types assortis à cette moyenne sont faibles (0.4 à 2.0), ce qui indique que l'évolution de la température est identique dans les 15 stations considérées bien que les prélèvements soient effectués à différents moments de la journée (voir à ce propos les écarts de température que nous avons indiqués ci-dessus - chapitre 3.1 - entre 9h00 et 19h00).

La figure 12 donne l'évolution de cette température moyenne de l'eau pour les trois années et la compare avec l'évolution de la température moyenne mensuelle de l'air (tableau 1).

Le coefficient de corrélation entre ces deux séries de mesures pour les trois années est de 0.883, ce qui indique que la moyenne des températures instantanées lors d'une série de prélèvements est un bon indicateur du régime thermique de l'air pendant le mois correspondant.

Les variations saisonnières de la température de l'eau sont évidemment variables d'une année à l'autre même si l'allure des courbes est du même type :

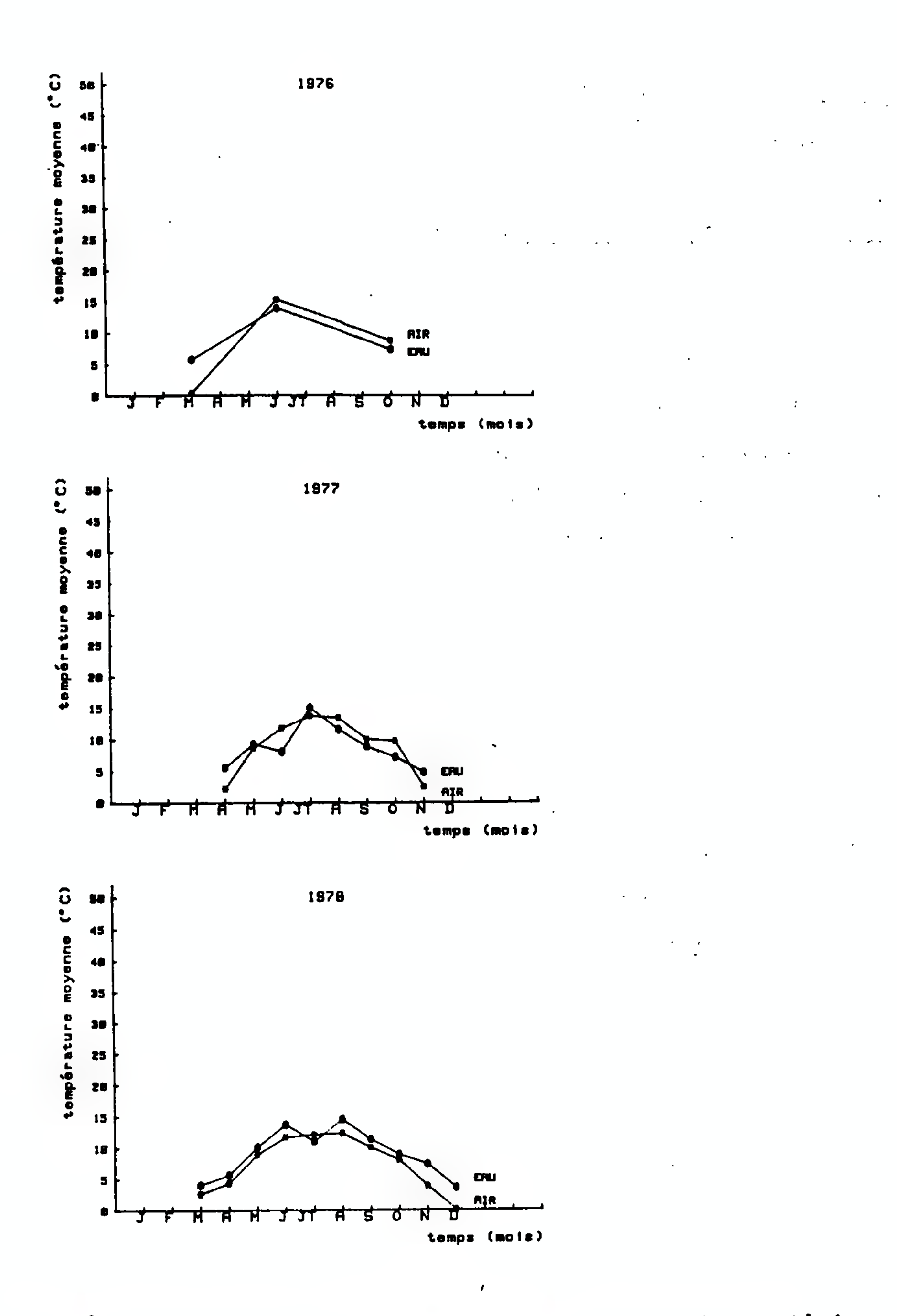


Figure 12.- Comparaison entre la température moyenne mensuelle de l'air et la température moyenne de l'eau, calculée pour chaque série de prélèvements à partir des 15 stations du tableau 8.

- maximum en juillet 1977 (période chaude très courte en juillet-août)
- maximum en juin et août 1978, avec une période chaude plus étendue de juin à septembre.

Pour 1976, 3 mesures sont insuffisantes pour caractériser l'évolution du régime thermique.

Interprétation des températures de l'eau à l'échelle des 4 bassins
(Vesdre, Roer, Amblève et Our)

Le tableau 10 reprend, pour les 44 stations prospectées trois fois en 1976, le numéro de station, l'orientation du bassin, l'altitude de la station et la température moyenne de l'eau. Au bas du tableau figurent l'altitude et la température moyenne pour les stations au-dessus et en dessous de 400 m et l'orientation prépondérante pour chacun des 4 bassins principaux.

On constate :

- que la température de l'eau varie fortement pour une même altitude pour des stations de différents bassins (à 580 m : 6.4°C à la station 150 dans le bassin de la Vesdre, 9.1°C à la station 13 dans le bassin de la Roer, 11.5°C à la station 68 dans le bassin de l'Amblève);
- que le couvert végétal semble particulièrement important (à 460 m dans le bassin de la Vesdre : 9.5°C à la station 33 avec un bassin versant déboisé, 7.6°C à la station 140 avec un bassin versant boisé);
- que l'orientation du bassin joue un rôle important pour le mésoclimat du bassin dans son ensemble (tableau 11) mais moins important au niveau des ruisseaux pris isolément (pour une même altitude : 8.2°C à la station 31, orientation sud mais milieu boisé à la source, 10.6°C à la station 47, orientation nord-est mais milieu ouvert).

Le tableau 10 montre donc qu'il n'est pas possible d'établir une corrélation simple altitude-température de l'eau dans la région considérée où les dénivellations sont de faible amplitude (altitude variant de 560 à 400 m). D'autres facteurs tels que le couvert végétal, l'orientation du bassin, l'encaissement des vallées interviennent également.

VESDRE				ROER				AMBLEVE				OUR			
Or	N°st	Alt	T°moy	Or	N°st	Alt	T°moy	Or	N°st	Alt	T°moy	Or	N°st	Alt	T°moy.
NO	6	410	7.6	O	13	580	9.1	S	29	645	8.8	S	88	445	12.4
N	9	535	7.3	O	15	535	9.0	NO	66	595	9.3	S	89	445	11.7
N	12	430	8.1	N	20	540	9.1	O	67	555	11.0	S	91	490	9.9
SO	23	620	6.0	S	30	555	7.9	NO	68	580	11.5	S	98	435	9.1
N	33	460	9.5	SE	31	545	8.2	S	75	475	8.8				
NO	59	330	9.8	E	38	565	7.4	O	111	530	9.3				
N	63	270	9.5	E	39	540	8.7	O	119	435	9.2				
N	93	510	7.5	NE	40	535	9.2	N	121	490	8.5				
NO	94	295	9.6	NE	42	500	8.0	N	122	405	9.4				
NO	95	390	8.4	E	43	530	7.5	S	129	520	7.9				
NO	139	360	7.8	NE	47	545	10.6	S`	130	455	12.0				
NO	140	460	7.6					O	133	400	9.7				
O	143	325	8.7												
O	144	340	8.3												
O	145	265	9.6												
NO	148	395	7.5												
O	150	580	6.4												
Moy. pour les 8 st. > 400 m		500	7.5	-	11st	545	8.6	-	12st	510	9.6	-	4st	455	10.8
Moy. pour les 9 st. < 400 m		330	8.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Orientation Prépondérante		N-NO		NE				O				S			

Tableau 10.- Numéro, altitude (en m) et température moyenne (en °C) pour les stations prospectées 3 fois en 1976 dans les 4 bassins principaux (Or = orientation du sous-bassin de chaque ruisseau).

BASSIN	ALTITUDE MOYENNE (st. > 400 m)	Temp. moy. eau (mêmes stations)	COUVERT VEGETAL - TOPOGRAPHIE	ORIENTATION GENERALE DU BASSIN
Vesdre	500	7.5°C	forêts, tourbières - vallées encaissées	N-NO
Roer	540	8.2	forêts, tourbières - vallées plus ouvertes	NE
Schwalm	555	9.5	végétation herbacée - vallées très ouvertes	NE
Amblève	510	9.6	(forêts), pâtures - vallées très ouvertes	O
Our	455	10.8	pâtures dominantes - vallées très ouvertes	S-SO

Tableau 11.- Température moyenne de l'eau pour les stations situées au-dessus de 400 m et pour les 3 prélèvements de 1976 dans les principaux bassins étudiés; relations avec l'altitude moyenne pour ces mêmes stations (en m) et le couvert végétal et la topographie de ces bassins .

A l'échelle des bassins principaux, on obtient une bonne caractérisation en tenant compte simultanément de l'altitude moyenne des stations situées au-dessus de 400 m, du couvert végétal, de la topographie et de l'orientation générale du bassin versant (tableau 11).

Pour la Vesdre, l'altitude moyenne des stations au-dessus de 400 m est de 500 m, mais en réalité, une partie importante du bassin versant se trouve au-dessus de 600 m. Cet élément s'ajoute au couvert forestier dense, à l'encaissement des vallées et à l'orientation générale du bassin versant vers le N-NO pour expliquer la température moyenne générale de 7.5°C. Notons que, pour les 9 stations situées en dessous de 400 m (altitude moyenne de 330 m), la température moyenne de 8.8°C est semblable à celle du bassin de la Roer pourtant situé à une altitude moyenne de 545 m. Le mésoclimat froid du bassin de la Vesdre semble donc s'étendre loin en aval, ce qui est confirmé par la descente d'espèces boréo-montagnardes jusqu'à 400 m dans la vallée de la Helle (*Trientalis europaea, Vaccinium uliginosum, Nardia compressa, Marsupella emarginata* notamment).

Le bassin de la Roer supérieure doit être subdivisé en 2 : le sous-bassin de la Roer proprement dit (altitude moyenne des stations de 540 m, température moyenne de l'eau de 8.2°C, milieu moins encaissé que le bassin de la Vesdre mais encore très boisé) et celui de la Schwalm (altitude moyenne de 550 m, température moyenne de 9.5°C, milieu très ouvert et peu boisé). L'orientation étant la même (nord-est) pour les deux sous-bassins, c'est le couvert végétal qui joue un rôle déterminant.

Pour le bassin de l'Amblève, la température est de 9.6°C soit 1.4°C de plus que pour le sous-bassin de la Roer à une altitude équivalente. Il s'agit d'une région nettement moins boisée, plus ouverte, où une large part du territoire est consacrée au pâturage. L'orientation générale du bassin est l'ouest.

Enfin, la vallée de l'Our est toujours plus tempérée que les trois autres. La moyenne générale pour les stations au-dessus de 400 m est de 10.8°C soit 1.2°C supérieure à celle du bassin de l'Amblève et 3.3°C supérieure à celle du bassin de la Vesdre. Outre le fait que le boisement est limité à quelques massifs isolés alors que les pâtures occupent la majorité du bassin, l'orientation sud-sud-ouest et l'altitude moyenne des stations (455 m) sont évidemment favorables à l'échauffement plus important de l'air et du sol.

Conclusions

Dans nos prélèvements, il n'existe pas de relation évidente et systématique entre la température de l'eau et l'altitude d'une station.

Par contre, si l'on utilise la température moyenne de l'eau pour les trois prélèvements de 1976 dans 44 stations, on peut dégager des différences interprétables à l'échelle des 4 bassins, en tenant compte de l'altitude, de la couverture végétale, de l'orientation générale du bassin versant et de la structure du paysage. Ainsi, aux eaux froides du bassin de la Vesdre et de la Roer, les plus encaissés et les plus boisés, à orientation nord, nord-ouest et nord-est, s'opposent les eaux moins froides des bassins de la Schwalm, de l'Amblève et de l'Our, plus ouverts et nettement moins boisés, à orientation ouest-sud-ouest (et nord-est pour la Schwalm).

Nous basant sur la bonne corrélation que nous avons mise en évidence entre la température moyenne mensuelle de l'air et la moyenne des températures instantanées de l'eau pour le mois correspondant, nous montrons ainsi que les faibles différences de températures moyennes annuelles enregistrées dans les eaux des 4 bassins étudiés correspondent aux caractéristiques mésoclimatiques qui y règnent.

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	4.1	5.6	4.6	4.5	7.0	4.6	7.1	6.6	6.C	6.4	****	****	****	****	4.1	5.5	*1.2*
7606	4.0	6.4	5.2	5.6	6.7	6.2	7.2	6.0	6.7	6.7	****	****	****	****	3.8	5.9	*1.1*
7610	5.1	6.7	6.2	6.2	6.7	7.3	7.4	6.3	6.4	3.9	7.4	****	****	****	4.3	6.0	*1.1*
7704	3.9	4.6	3.9	3.8	6.0	4.8	6.6	6.2	6.2	5.7	6.8	4.6	5.4	****	3.9	5.3	*1.1*
7705	4.0	5.8	****	****	6.5	5.2	7.1	****	6.5	6.3	7.3	5.3	****	****	3.9	5.8	*1.2*
7706	4.0	5.8	****	****	6.0	5.8	6.9	****	6.4	6.4	7.6	5.6	****	****	3.8	5.8	*1.2*
7707	4.6	6.9	5.1	4.8	7.1	6.7	7.6	7.0	7.1	6.2	7.4	5.7	6.8	5.3	4.1	6.3	*1.2*
7727	3.9	6.2	****	****	7.0	4.8	6.9	****	6.6	6.7	7.5	5.8	****	****	3.8	5.9	*1.3*
7708	3.5	6.4	****	****	7.1	4.9	7.3	****	6.7	5.2	7.1	6.5	****	****	3.4	5.8	*1.5*
7709	3.8	6.4	****	****	6.8	6.6	7.1	****	6.3	6.0	7.2	6.3	****	****	3.8	6.0	*1.2*
7710	3.9	6.5	5.8	5.5	7.0	6.8	7.2	6.4	6.4	6.0	7.3	6.4	6.6	5.6	3.8	6.1	*1.3*
7711	3.5	5.6	****	****	7.1	5.2	6.6	****	6.C	6.2	7.4	5.0	****	****	3.3	5.6	*1.4*
7803	****	5.0	3.9	3.9	6.4	****	6.7	6.2	6.4	****	****	****	6.5	4.6	3.4	5.3	*1.3*
7804	****	5.0	4.0	4.0	6.8	5.5	6.8	5.7	6.2	6.4	****	****	6.0	4.3	3.6	5.2	*1.2*
7805	****	6.1	4.2	4.0	6.9	****	6.9	6.2	6.8	****	****	****	6.7	4.6	3.6	5.6	*1.3*
7806	****	6.4	4.2	4.4	7.2	****	7.0	6.2	6.7	****	****	****	6.6	4.6	3.5	5.7	*1.4*
7807	****	6.4	4.6	4.6	6.9	6.8	7.5	6.4	6.6	6.8	****	****	6.8	6.4	3.6	6.0	*1.3*
7808	****	6.6	5.5	6.0	7.0	****	7.2	6.3	6.6	****	****	****	6.8	5.1	4.0	6.1	*1.0*
7809	****	6.8	6.0	6.2	7.2	6.7	7.4	6.2	6.4	6.8	****	****	6.8	5.8	3.8	6.3	*1.0*
7810	****	6.4	5.8	5.2	6.6	****	7.1	6.4	6.4	****	****	****	6.4	5.8	3.8	6.0	*0.9*
7811	****	6.0	4.1	3.9	6.5	6.8	7.0	6.2	6.2	6.6	****	****	6.5	4.5	3.6	5.5	*1.3*
7812	****	4.6	3.8	3.4	6.2	****	6.4	6.0	6.1	****	****	****	5.6	4.5	3.4	5.0	*1.2*
7904	****	4.7	3.8	3.7	6.4	****	6.6	5.5	6.2	****	****	****	5.8	4.1	3.4	5.0	*1.2*
8007	4.0	4.0	3.7	4.1	5.4	4.8	5.5	5.6	4.9	6.0	6.2	4.9	4.2	3.7	3.9	-	-
x et s																	
1976	4.4	6.2	5.3	5.4	6.8	6.0	7.2	6.3	6.4	5.7	****	****	****	****	4.1		
	0.6	*0.6*	*0.8*	*0.8*	*0.2*	*1.4*	*0.2*	*0.3*	*0.4*	*1.6*					*0.3*		
1977	3.9	6.0	(4.9)	(4.7)	6.7	5.6	7.0	(6.5)	6.5	6.1	7.3	5.7	(6.3)	****	3.8		
	0.3	*0.7*	*(1.0)*	*(0.9)*	*0.5*	*0.9*	*0.3*	*(0.4)*	*0.3*	*0.4*	*0.2*	*0.6*	*(0.8)*		*0.3*		
1978	****	5.9	4.6	4.6	6.8	(6.5)	7.0	6.2	6.4	(6.7)	****	****	6.5	5.0	3.6		
		0.8	*0.8*	*0.9*	*0.3*	*(0.6)*	*0.3*	*0.2*	*0.2*	*(0.2)*			*0.4*	*0.7*	*0.8*		

Tableau 12.- Variations stationnelles et saisonnières du pH pour 1976-77-78 :

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types(en italiques)
entre parenthèses : moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	1.6370	2	0.81848		
station	27.6055	10	2.76055	4.75	1.5
ms	11.6164	20	0.58082		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	7.2060	8	0.90075		
station	116.7649	9	12.97388	75.91	0.00
ms	12.3051	72	0.17090		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	15.635	9	1.73721		
station	114.785	9	12.75388	77.45	0.00
ms	13.338	81	0.16467		

Tableau 13.- Analyse de la variance sur le tableau 12. Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles du pH.

3.3.3. pH (unité pH)

Tests statistiques sur l'effet station (tableaux 12 et 13)

Pour les trois années, le test d'analyse de la variance est très significatif (tableau 13).

Les contrastes mettent en évidence les différences significatives au seuil de 5 % et les groupes de stations affines apparaissent (figure 13).

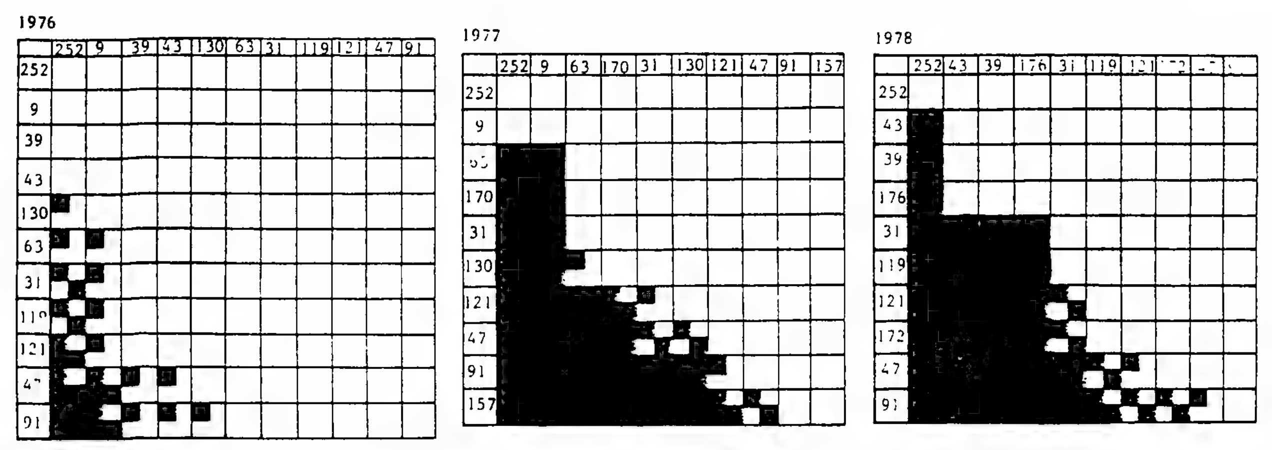


Figure 13.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes de pH en 1976, 1977 et 1978.

Paramètre : pH (unité pH)						LIMITES DES CLASSES		Situation géologique de la source à la station
N°ST.	MOYENNES ANNUELLES 1976	1977	1978	MOYEN. GENER.	CONTRASTES 76 77 78	VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)	
252	4.2	3.8	3.6	3.8		1 3.6- 4.4	(-) 3.3- 4.9(5.8)	Rv2
9	4.4	3.9	-	4.0				Rv2
43	5.4	4.7	4.6	4.8		2 4.6- 5.4	(-) 3.4- 6.4(-)	Rv2, Rv3, Sm
39	5.3	4.9	4.6	4.8				Rv2, Rv3, , Sl(+Gd)
176	-	5.1	5.0	5.0				Rv2 (+ silex)
170	-	5.7	-	5.7		3 5.6- 6.5	(4.0) 4.6- 7.1(7.4)	Rv3, Sm (+ silex)
63	6.0	5.6	6.0	5.9				Rv2, , Sm
31	6.2	6.0	5.9	6.1				Sm
130	5.7	6.1	6.7	6.2				Rv3 (+ silex)
119	6.3	6.5	6.2	6.3				Sm (puis Rv2)
121	6.4	6.5	6.4	6.4				Sl (puis Gd)
172	-	6.3	6.5	6.5				Sl
47	6.8	6.7	6.8	6.8		4 6.7- 7.3	(5.4) 5.7- 7.6(-)	S2
91	7.2	7.0	7.0	7.0				El
157	-	7.3	-	7.3				El

Tableau 14.- Répartition en classes des valeurs moyennes de pH sur base des contrastes pour les prélèvements de 1976, 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.

N°St.	Date	min.	moy.	max.	Date	Amplitude
252	7711	3.3	3.8	4.3	7610	1.0
9	7711	3.5	4.0	5.1	7610	1.6
39	8007	3.7	4.8	6.2	7610	2.5
43	7812	3.4	4.8	6.2	7610 et 7809	2.8
176	8007	3.7	5.0	6.4	7807	2.7
63	7603	4.6	5.7	7.3	7610	2.7
170	7704	4.6	5.7	6.5	7708	1.9
130	7708	5.2	6.1	6.8	7807 et 7809	1.6
31	8007	4.0	6.1	6.8	7809	2.8
119	7904	5.5	6.3	7.0	7707	1.5
121	8007	4.9	6.4	6.8	7805	1.9
172	8007	4.2	6.5	6.8	7707 et 7807-08-09	2.6
47	8007	5.4	6.8	7.2	7806 et 7809	1.8
91	8007	5.5	7.0	7.5	7807	2.0
157	8007	6.2	7.3	7.6	7706	1.4

Tableau 15.- Valeurs minimales, moyennes et maximales du pH au cours de la période d'étude, dates d'observations des valeurs maximums et amplitude de variation.

Dans le tableau 14, le classement par ordre croissant des valeurs moyennes générales du pH est relié étroitement à la situation géologique de chaque rivière en amont du point de prélèvement. Le pH est très acide sur les roches du Rv_2. Il augmente légèrement quand les sources sont sur Rv_2 et que la rivière passe ensuite sur des assises plus riches (Rv_3, Sm, S_1, massifs de silex légèrement carbonatés). Le pH est proche de 6 quand la rivière est en contact prolongé avec le Sm et le S_1 et que les sources ne sont plus sur Rv_2. Il est proche de 7 quand la rivière coule entièrement sur S_2 et E_1.

Une station est difficile à situer dans cette classification en 1976. Il s'agit du ru Hodial (station 130) qui, contrairement à toutes les autres stations et pour des raisons indéterminées, a vu son pH diminuer et la teneur en sulfates augmenter fortement pendant l'étiage d'octobre 1976.

En fonction des contrastes effectués, nous avons retenu 4 classes de pH dont les limites sont données dans le tableau 14.

Variations saisonnières

Amplitude

Les trois prélèvements de 1976 sont trop espacés pour rendre compte des variations saisonnières du pH mais les valeurs d'octobre, en période d'étiage prononcé, comparées aux valeurs de juillet 1980, en crue exceptionnelle, sont précieuses pour préciser l'amplitude des variations de ce paramètre.

Le tableau 15 donne les valeurs minimales, maximales et moyennes du pH au cours de la période d'étude et les dates auxquelles les valeurs extrêmes ont été mesurées.

Les pH minimums sont mesurés pendant l'hiver ou pendant la période de crue de juillet 1980. Les pH maximums sont notés en été (de juillet à septembre) et en octobre 1976. L'amplitude est de l'ordre de 2 unités pH en moyenne.

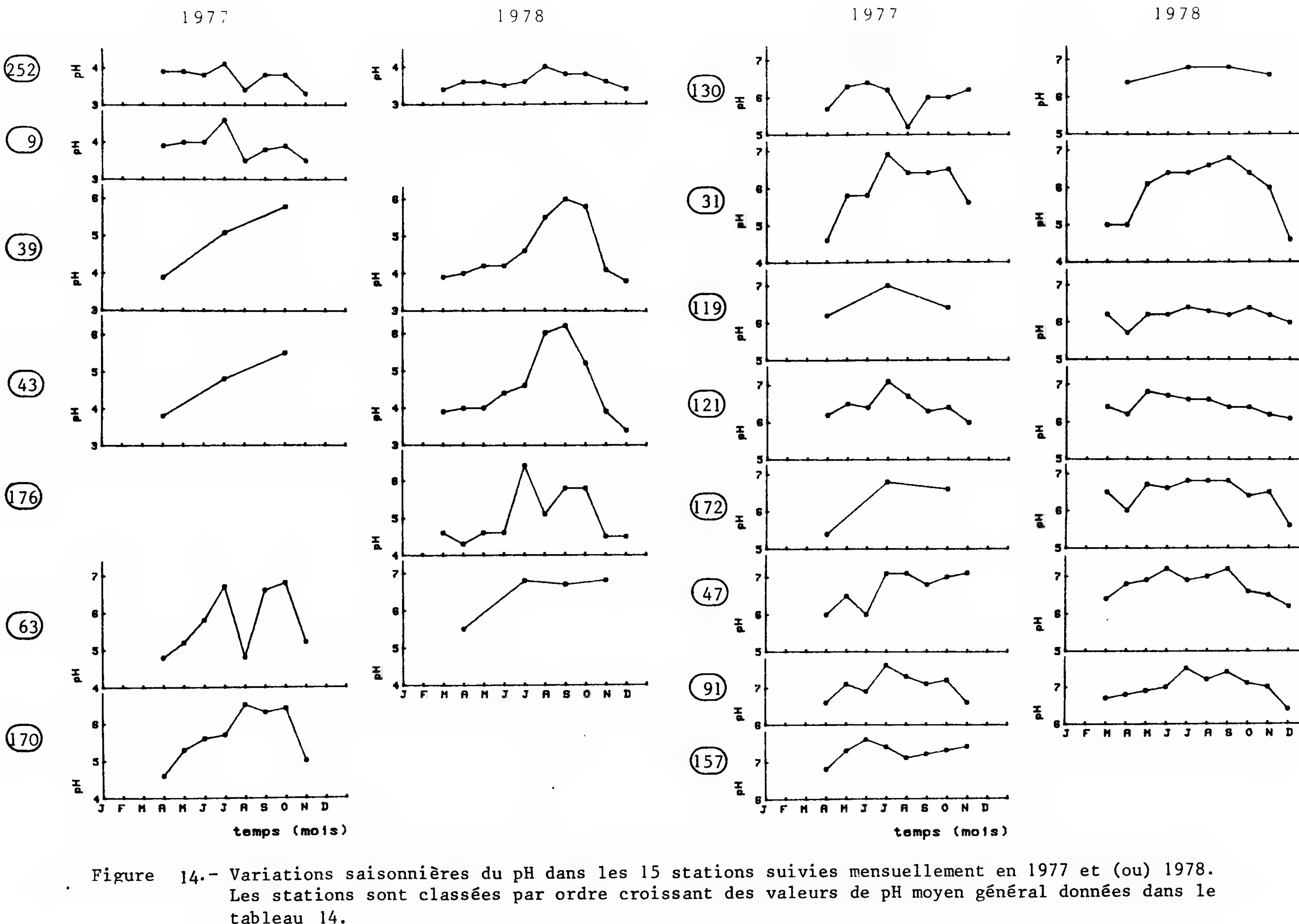


Figure 14.- Variations saisonnières du pH dans les 15 stations suivies mensuellement en 1977 et (ou) 1978. Les stations sont classées par ordre croissant des valeurs de pH moyen général données dans le tableau 14.

Variations mensuelles (figure 14)

D'une manière générale, on observe une augmentation du pH au cours du printemps et de l'été avec 1 ou 2 maximums entre juillet et octobre. Cette évolution n'est pas toujours parallèle à celle de la température. Ainsi, les pH maximums d'octobre 1976 correspondent à une température de l'eau de 7.4°C seulement mais à des conditions d'extrême sécheresse. Cette observation semble indiquer que le pH augmente quand le débit diminue. La notion inverse est également vérifiée : pour plusieurs stations en 1977 et 1978, on enregistre une diminution du pH en août, après des précipitations importantes à la fin du mois de juillet. De même, les crues très fortes de juillet 1980 ont amené une diminution spectaculaire du pH dans la plupart des stations. SCHUMACKER & PETIT (1984) observent aussi cette diminution dans différentes sources de la région de Spa.

Un autre facteur de variabilité du pH est, comme nous l'avons établi plus haut, l'appartenance géologique des stations. Considérons une rivière prenant sa source sur le Rv_2 et coulant ensuite sur des roches plus riches. En cas de pluies importantes, entraînant une augmentation du débit, la composition chimique de l'eau sera semblable à celle d'une rivière ne coulant que sur Rv_2. L'influence du substrat géologique au niveau de la source est alors prépondérante. Par contre, en cas de sécheresse, le débit diminue et le temps de passage de l'eau sur les roches plus riches augmente, entraînant une augmentation de pH. Le ruisseau de Winamplanche, qui a ses sources sur le Rv_2 puis coule sur le Sm, est le plus démonstratif à cet égard (station 63 en 1976), mais ce mécanisme existe à un degré moindre dans d'autres ruisseaux coulant sur plusieurs substrats de plus en plus riches.

En raison de la situation géologique variée et de l'irrégularité des régimes thermique et pluviométrique, il n'est donc pas étonnant d'obtenir des profils de pH différents d'une année à l'autre et même d'une station à l'autre (figure 14). Nous les avons tracés pour 1977 et 1978, les trois valeurs pour 1976 n'étant pas suffisantes pour suivre l'évolution saisonnière.

Pour mieux cerner l'effet simultané de la température et de la pluviosité sur le pH, il est utile de tracer le profil du pH moyen observé pour chaque série de prélèvements (valeurs moyennes dans le tableau 12).

date du prélèvement	température moyenne des eaux	pluviosité moyenne par quinzaine	modèle temp. moy. / pluv. moy.	pH moyen général
7603	5.7 °C	68.3 mm	0.08	5.5
06	13.9	33.0	0.42	5.9
10	7.4	31.8	0.23	6.0
7704	5.5	56.5	0.10	5.3
05	9.2	73.1	0.13	5.8
06	8.0	68.8	0.12	5.8
07	14.9	54.5	0.27	6.3
08	11.5	56.0	0.21	5.8
09	8.8	69.5	0.13	6.0
10	7.2	41.3	0.17	6.1
11	4.8	57.6	0.08	5.6
7803	4.0	43.9	0.09	5.3
04	5.6	55.6	0.10	5.2
05	10.1	78.7	0.13	5.6
06	13.7	53.5	0.26	5.7
07	11.0	64.2	0.17	6.0
08	14.5	66.8	0.22	6.1
09	11.3	40.0	0.28	6.3
10	8.9	51.2	0.17	6.0
11	7.3	54.7	0.13	5.5
12	3.5	57.3	0.06	5.0

Tableau 16 .- Relation entre le pH moyen général par série de prélèvement (tableau 12), la température moyenne des eaux calculée pour les stations du tableau 8 et le modèle basé sur le rapport entre cette température et la pluviosité moyenne par quinzaine (tableau 3).

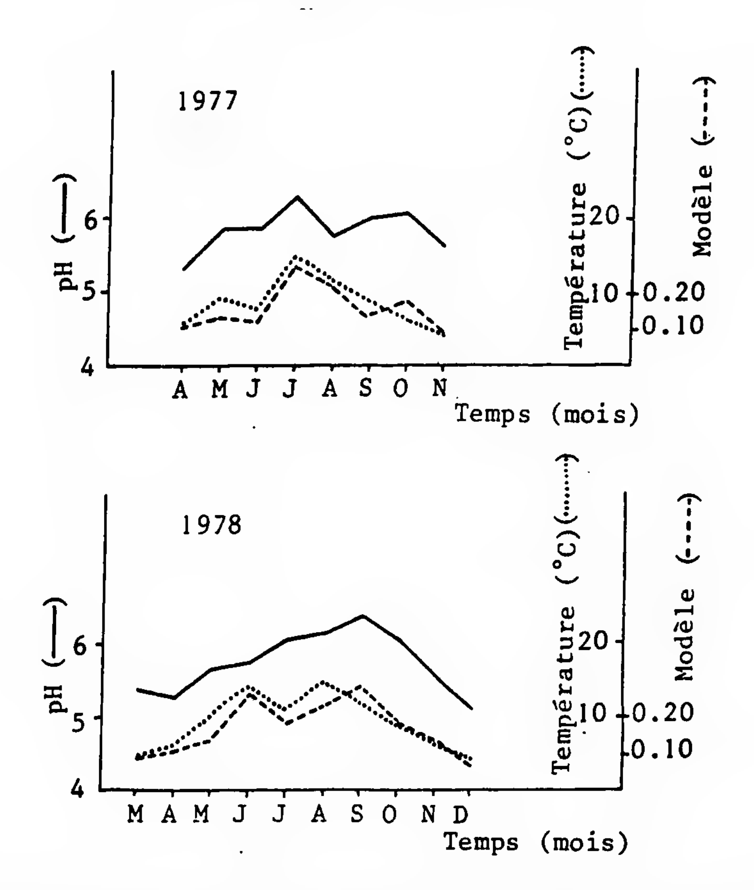


Figure 15.- Evolution du pH moyen général par série de prélèvements et comparaison avec l'évolution de facteurs climatiques (température et pluviosité).

Partant du principe établi ci-dessus de l'évolution du pH proportionnelle à la température et inversément à la pluviosité (dont la variation est assimilée plus ou moins directement aux variations de débit), il est possible d'élaborer un modèle simple basé sur le rapport suivant :

$$\frac{\text{température moyenne de l'eau}}{\text{pluviosité moyenne}}.$$

La température moyenne de l'eau est calculée à partir du tableau 8 sur une dizaine de stations chaque année.

La pluviosité moyenne par quinzaine est calculée à partir des relevés du Mont-Rigi sur une période de 2 mois précédant les prélèvements de 1977 et 1978 (tableau 3). Cette période donne le meilleur ajustement entre la courbe de pH et celle du modèle pour ces deux années.

Pour obtenir un résultat semblable en 1976, il faut calculer la moyenne sur 4 mois avant le prélèvement : en cas de sécheresse prolongée, il faut vraisemblablement un délai assez long pour que les sources se tarissent ou se reforment.

En 1977 et 1978, la pluviosité étant abondante et régulière, deux mois suffisent, les nappes étant constamment réapprovisionnées.

Les valeurs du pH moyen, de la température moyenne de l'eau et du modèle sont rassemblées dans le tableau 16 et mises sous forme graphique à la figure 15.

Pour 1977, le profil du modèle suit mieux la variation du pH que le profil de température moyenne puisqu'il montre 2 pics comme celui du pH.

Pour 1978, les profils du modèle et de la température moyenne sont différents de celui du pH avec une valeur faible en juillet qui n'est pas suivie d'une diminution du pH moyen. Mais une diminution du pH entre juin et septembre apparaît aux stations 47, 91, 119 et 176 et correspond donc bien à une modification des conditions climatiques. D'autre part, le modèle situe correctement le pic de pH au mois de septembre, alors que la température maximale est enregistrée en août.

Dans l'ensemble, le modèle rend donc bien compte de l'action simultanée de la température de l'eau et de la pluviosité sur le pH. Les résultats seraient sans doute améliorés si l'on disposait de mesure de débit, les relations entre

la pluviosité et le débit étant assez complexes (SCHUMACKER & PETIT, 1984).

Ce modèle sera utilisé également pour expliquer les variations d'autres paramètres.

Conclusions

Le pH de l'eau augmente régulièrement le long de l'échelle stratigraphique : eaux acides sur Rv_2, de moins en moins acides sur Sm, S_1, neutres sur S_2 et légèrement basiques sur E_1.

Etant donné la faible puissance des assises du Salmien (Sm) et du Dévonien inférieur (Gd, S_1, S_2), beaucoup de rivières parcourent successivement de courtes distances sur ces différentes roches (de 1 à 4 km) et présentent des caractéristiques et un pH intermédiaires.

Dans ces conditions, pendant la saison hivernale et en période de fortes eaux (pH minimum), le substrat sur lequel la rivière prend naissance garde une influence prépondérante loin en aval. Par contre, en été et en période de sécheresse, les caractéristiques des eaux se modifient en fonction des autres substrats que la rivière traverse.

Les variations saisonnières se traduisent par une augmentation progressive du pH en été, avec des maximums situés en juin-juillet et en septembre-octobre. Cette évolution peut être perturbée quand la situation géologique en amont d'une station est assez complexe.

Enfin, l'augmentation de la température ne suffit pas à expliquer les variations du pH et il faut également tenir compte de la pluviosité pendant la période précédant le prélèvement.

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	0.0	1.0	0.0	0.0	4.0	1.0	4.0	4.0	6.0	6.0	****	****	****	****	0.0	2.6	*2.4*
7606	0.0	5.0	1.4	2.0	7.0	4.0	16.0	5.0	10.0	7.0	****	****	****	****	0.0	5.7	*4.7*
7610	1.0	11.0	5.0	6.0	9.0	13.0	21.0	3.0	8.0	0.0	21.0	****	****	****	0.0	7.7	*6.3*
7704	0.0	0.6	0.0	0.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	8.0	0.0	2.0	****	0.0	2.7	*2.5*
7705	0.0	2.0	****	****	5.0	1.0	8.0	****	6.0	5.0	9.0	1.0	****	****	0.0	4.6	*3.1*
7706	0.0	3.0	****	****	8.0	1.0	10.0	****	5.0	4.0	13.0	2.0	****	****	0.0	5.8	*4.2*
7707	0.0	5.0	1.0	0.0	7.0	5.0	12.0	5.0	9.0	4.0	12.0	2.0	4.0	1.0	0.0	6.9	*3.6*
7727	0.0	4.0	****	****	9.0	1.0	13.0	****	8.0	9.0	16.0	2.0	****	****	0.0	7.6	*5.2*
7708	0.0	8.0	****	****	9.0	1.0	9.0	****	8.0	1.0	14.0	8.0	****	****	0.0	7.3	*4.3*
7709	0.0	8.0	****	****	10.0	6.0	13.0	****	9.0	6.0	14.0	4.0	****	****	0.0	8.8	*3.5*
7710	0.0	6.0	2.0	2.0	7.0	0.0	18.0	6.0	10.0	4.0	18.0	6.0	6.0	1.0	0.0	9.6	*5.4*
7711	0.0	2.0	****	****	4.0	1.0	5.0	****	4.0	8.0	8.0	1.0	****	****	0.0	4.1	*2.8*
7803	****	2.0	0.0	0.0	3.0	****	6.0	4.0	4.0	****	****	****	3.0	1.0	0.0	2.6	*2.0*
7804	****	1.0	0.0	0.0	4.0	4.0	5.0	4.0	5.0	6.0	****	****	2.0	0.5	0.0	2.4	*2.1*
7805	****	4.0	0.0	0.0	7.5	****	6.0	4.0	6.0	****	****	****	4.0	1.0	0.0	3,6	*2.7*
7806	****	7.0	0.0	0.0	8.0	****	10.0	5.0	8.0	****	****	****	6.0	1.0	0.0	5.0	*3.6*
7807	****	6.0	1.0	1.0	8.0	4.0	14.0	5.0	8.0	10.0	****	****	6.0	3.0	0.0	5.8	*4.0*
7808	****	9.0	2.0	2.0	?.0	****	13.0	5.0	9.0	****	****	****	5.0	1.0	0.0	6.0	*4.0*
7809	****	8.0	2.0	3.0	8.0	10.0	13.0	5.0	7.0	8.0	****	****	5.0	1.5	0.0	5.8	*3.6*
7810	****	5.0	2.0	1.0	4.0	****	13.0	5.0	6.0	****	****	****	6.0	1.5	0.0	4.8	*3.6*
7811	****	3.0	0.0	0.0	6.0	2.0	8.0	4.0	6.0	3.0	****	****	3.0	0.0	0.0	3.3	*3.0*
7812	****	1.0	0.0	0.0	3.0	****	4.0	2.0	3.0	****	****	****	1.0	0.0	0.0	1.6	*1.5*
7904	****	0.5	0.0	0.0	3.0	****	4.0	2.0	4.0	****	****	****	2.0	0.0	0.0	1.7	*1.7*
8007	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.5	1.5	4.0	1.0	9.0	5.0	0.5	0.0	0.0	0.0		
x̄ et s																	
1976	0.3	5.7	2.1	2.7	6.7	6.0	13.7	4.0	8.0	4.3	****	****	****	****	0.0		
	0.5	*5.0*	*2.6*	*3.0*	*2.5*	*6.2*	*8.7*	*1.0*	*2.0*	*3.8*					*0.0*		
1977	0.0	4.3	(1.0)	(0.7)	6.8	2.8	10.0	(3.3)	6.8	5.0	12.4	2.9	(4.0)	****	0.0		
	0.0	*2.7*	*(1.0)*	*(1.1)*	*2.3*	*2.8*	*4.7*	*(2.3)*	*2.4*	*2.4*	*3.5*	*2.6*	*(2.0)*		*0.0*		
1978	****	4.6	0.7	0.7	6.0	(5.0)	9.2	4.3	6.2	(6.8)	****	****	4.1	1.1	0.0		
		2.8	*0.9*	*1.0*	*2.2*	*(3.6)*	*3.8*	*0.8*	*1.8*	*(3.0)*			*1.8*	*0.8*	*0.0*		

Tableau 17.- Variations stationnelles et saisonnières de l'alcalinité pour 1976, 1977 et 1978:

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italiques) entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	120.34	2	60.168		
station	450.01	10	45.001	3.67	0.64
ms	244.97	20	12.248		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	261.13	8	32.6418		
station	1318.95	9	146.5502	32.72	0.00
ms	327.45	72	4.5480		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	189.46	9	21.0511		
station	816.01	9	90.6678	46.99	0.00
ms	156.29	81	1.9295		

Tableau 18.- Analyse de la variance sur le tableau 17. Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles de l'alcalinité.

3.3.4. Alcalinité (ppm-$CaCO_3$)

Tests statistiques sur l'effet station (tableaux 17-18)

Le test d'analyse de la variance est très significatif pour les trois années (tableau 18 : seuil inférieur à 0.6 %).

La figure 16 reprend les résultats des contrastes et fait apparaître des groupes de stations. Pour 1976, peu de contrastes sont significatifs

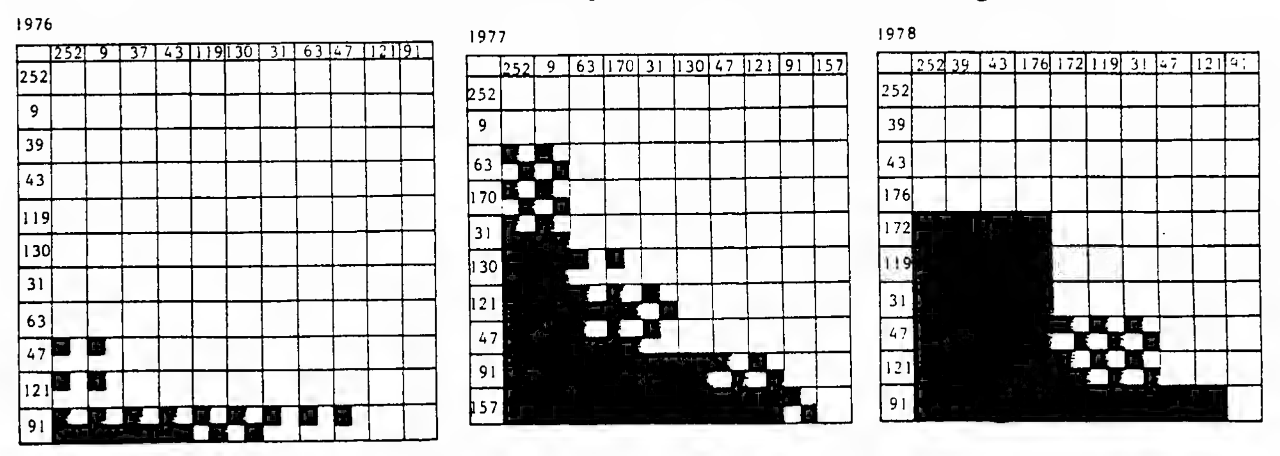


Figure 16.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes d'alcalinité en 1976, 1977 et 1978.

Paramètre : ALCALINITE (ppm-$CaCO_3$)						LIMITES DES CLASSES	
N° ST.	MOYENNES ANNUELLES 1976	1977	1978	MOYEN. GENER.	CONTRASTES 76 77 78	VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)
252	0.0	0.0	0.0	0.0		**1** 0.0- 0.3	(-) 0.0- 0.5(2.0)
9	0.3	0.0	-	0.1			
176	-	0.7	1.1	1.0			
39	2.1	1.0	0.7	1.0		**2** 0.7- 2.7	(-) 0.0- 3.0(8.0)
43	2.7	0.7	0.7	1.1			
170	-	2.9	-	2.9			
63	6.0	2.8	5.0	3.9			
172	-	4.0	4.1	4.1		**3** 2.8- 5.7	(-) 0.0-10.0(13,0)
119	4.0	4.3	4.3	4.3			
31	5.7	4.3	4.6	4.6			
130	-	5.0	6.8	6.0			
47	6.7	6.8	6.0	6.4		**4** 6.0- 8.7	(-) 1.0-16.0(-)
121	8.0	6.8	6.2	6.7			
91	13.7	10.0	9.2	10.1		**5** 9.2-15.3	(1.5) 2.0-24.0(-)
157	-	12.4	-	12.4			
EXTENSION (CORPUS COMPLET)							
Stations 88-89-111						**6** 21.0-23.3	(-) 5.0-32.0(37.0)

Tableau 19.- Répartition en classes des valeurs moyennes d'alcalinité sur base des contrastes pour 1976, 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.

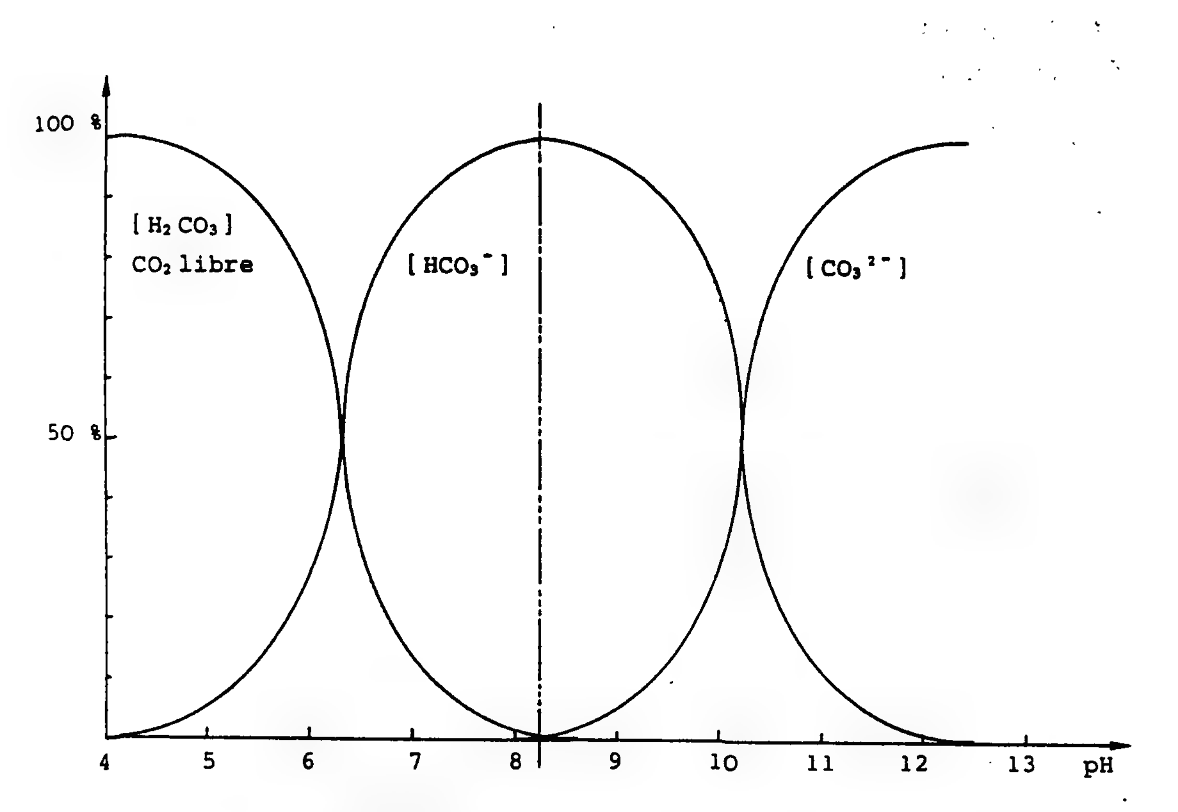


Figure 17.- Proportions de dioxyde de carbone (acide carbonique), carbonates acides et carbonates en solution dans l'eau en fonction du pH (d'après DUSSART, 1966).

en raison du nombre réduit de prélèvements et des valeurs exceptionnelles d'octobre 1976 qui introduisent une variabilité élevée dans les résultats. Par contre, en 1977 et 1978, les groupes sont mieux définis.

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bicarbonates, carbonates et hydroxydes (figure 17).

Pour un pH de 3 à 6, le carbone inorganique total est principalement constitué de CO_2 dissous. Entre 7 et 9, les bicarbonates sont les plus abondants. Au-dessus de pH 10, les carbonates dominent. En milieu ouvert, ces distributions peuvent changer avec les modifications de la température et de la composition ionique (PAGENKOPF, 1978). D'autre part, l'alcalinité caustique ou alcalinité hydroxyle n'existe pas en dessous de pH 8 (RODIER, 1975).

Comme nous ne considérons ici que des eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8.3, on peut estimer que l'alcalinité obtenue par la méthode volumétrique au rouge de méthyle et vert de bromocrésol est l' alcalinité totale et qu'elle est essentiellement due à des bicarbonates.

Ces bicarbonates sont normalement formés par attaque des carbonates des roches par le CO_2 dissous. Les teneurs observées sont donc étroitement liées à la situation géologique du ruisseau en amont de la station de prélèvement, aux précipitations et à la température. Dès lors, il n'est pas étonnant que le classement des stations par ordre croissant des valeurs moyennes générales soit très proche de celui obtenu pour les valeurs moyennes de pH dont les variations sont parallèles.

La seule différence importante par rapport aux groupes de pH, concerne les stations 172 et 121 qui étaient réunies par le pH et sont nettement séparées par l'alcalinité. Or, il faut remarquer que la station 121 est située sur Gedinnien (Gd), assise qui peut localement présenter des nodules carbonatés, alors que la station 172 est située uniquement sur S_1. Cette situation mixte S_1-Gd rapproche la station 121 de la station 47 située sur S_2.

La position de la station 172, plus haut dans le classement, est par ailleurs confirmée par le pH très bas (4.2) et l'alcalinité nulle lors des crues de juillet 1980, alors qu'on mesurait à la même époque à la station 121 un pH de 4.7 et une alcalinité de 1 ppm-$CaCO_3$.

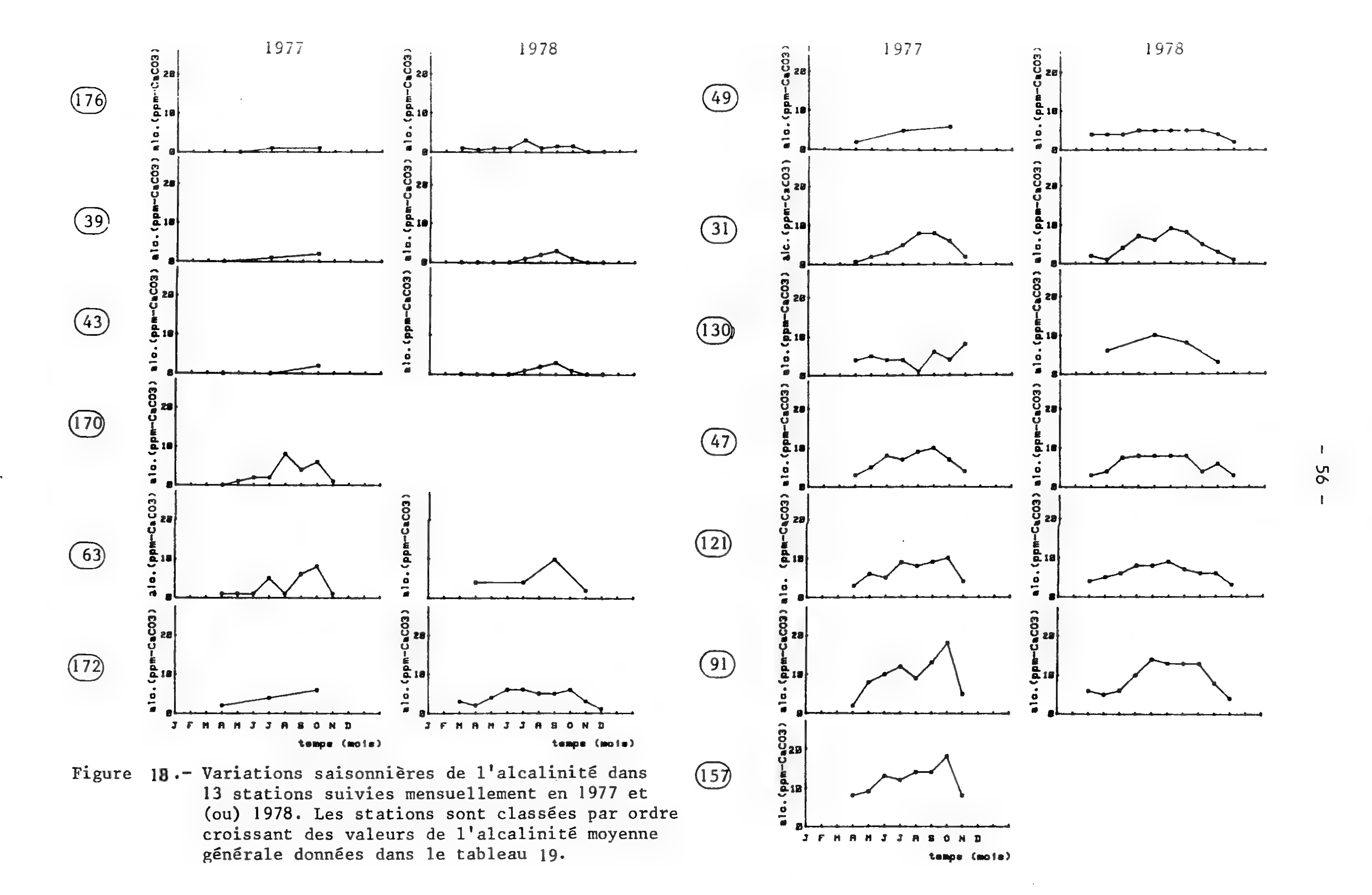


Figure 18.- Variations saisonnières de l'alcalinité dans 13 stations suivies mensuellement en 1977 et (ou) 1978. Les stations sont classées par ordre croissant des valeurs de l'alcalinité moyenne générale données dans le tableau 19.

Le tableau 19 indique que 5 classes peuvent être délimitées après comparaison des trois années. Si l'on tient compte des autres stations qui n'interviennent pas dans les tests, on peut y ajouter une sixième classe regroupant les stations 88, 89 et 111 (bassin de l'Amblève et de l'Our) en raison de leur alcalinité toujours plus élevée qu'aux stations 91 et 157.

L'alcalinité est normalement toujours nulle dans la classe 1 (ruisseaux sur Rv_2). Une seule fois, en octobre 1976, on a enregistré 1 ppm-$CaCO_3$ à la station 9. Il faut noter que, non loin de cette station, la source de la Getz présente parfois aussi une faible alcalinité et dans ces deux stations, les peuplements algaux sont sensiblement différents de ceux des rivières où l'alcalinité est toujours nulle.

Or, nous avons déjà montré (FABRI & LECLERCQ, 1979) que les eaux des ruisseaux des Fagnes du Nord (Brackvenn, Kutenhart et Steinley) sont systématiquement plus minéralisées que celles des Hautes Fagnes proprement dites. Deux hypothèses explicatives peuvent être évoquées : le lessivage des cendres produites lors de l'incendie de 1947 qui a consumé la tourbe sur une grande profondeur, et d'autre part la présence dans cette région d'importants lambeaux de roches éruptives, mais aucun relevé géologique précis n'existe à ce sujet (GEUKENS, communication personnelle). Ces roches, semblables à celles qui affleurent dans la vallée de la Helle au lieu-dit Herzogenhugel (station 253) sont nettement plus riches que celles du Rv_2 comme le montre une analyse d'eau s'échappant d'un forage réalisé à cet endroit (station 198, 7709) : pH 6.8; alcalinité 54 ppm-$CaCO_3$; calcium 16.8 ppm-Ca^{++}. Il est probable que la présence de ces roches plus riches a une influence sur la minéralisation des eaux, surtout en période d'étiage prononcé, lorsque l'écoulement superficiel est faible ou nul par rapport à l'écoulement plus profond et à l'eau débitée par la nappe.

Variations saisonnières (tableau 17 et figure 18)

Pour la classe 1, il n'y a généralement aucune variation saisonnière de l'alcalinité qui est toujours nulle.

Pour les autres classes, on observe alors une augmentation progressive de l'alcalinité du printemps à l'automne.

Ainsi, pour les classes 2 et 3 (stations 176, 39, 43, 170, 63, 172, 119, 31), on enregistre encore régulièrement une alcalinité nulle pendant l'hiver et en période de crue et une faible alcalinité apparaît pendant l'été (de juillet à octobre).

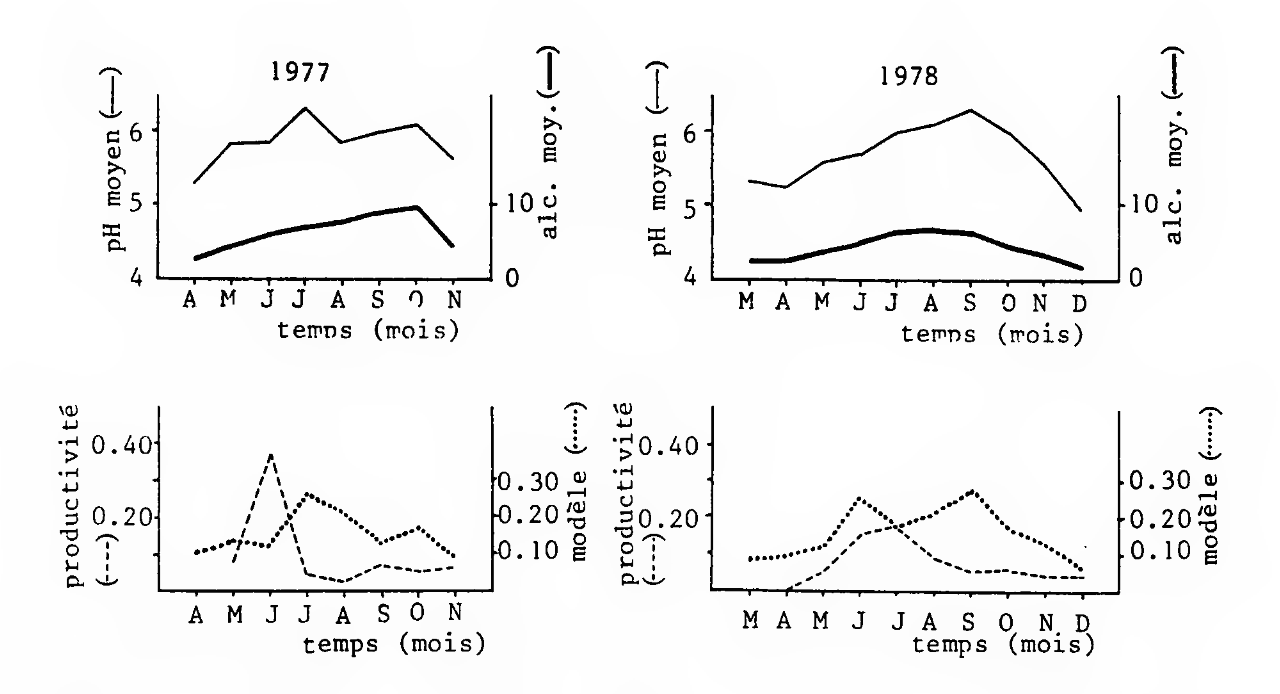


Figure 19.- Evolution de l'alcalinité moyenne générale par série de prélèvements et comparaison avec l'évolution du pH, des valeurs du modèle température-pluviosité et de la productivité primaire (en mg de chlorophylle a/m^2/jour).

Pour les classes 4 à 6, on n'enregistre plus de valeurs nulles mais la modification saisonnière va dans le même sens (augmentation de l'alcalinité en été et en automne à partir de faibles valeurs hivernales et printanières).

La figure 18 montre cependant que les profils saisonniers par station sont difficiles à interpréter en raison de la variabilité stationnelle, mais comme pour le pH, des indications intéressantes ressortent des profils moyens construits à partir des stations prospectées mensuellement en 1977 et 1978. Ces profils moyens sont complétés sur la figure 19 par les profils des valeurs moyennes de pH et les profils obtenus à partir du rapport température-pluviosité évoqué plus haut (tableau 16).

Ces deux types de courbes sont différents : le pic du pH observé en 1977 et, dans une moindre mesure, l'épaulement de la courbe du pH et le pic des valeurs du modèle pour mai-juin 1978 ne correspondent pas à un pic d'alcalinité. Les paramètres évoqués pour expliquer les variations du pH (débit et température) ne suffisent donc pas pour rendre compte des variations de l'alcalinité.

L'introduction d'un paramètre biologique - la productivité primaire - fournit un élément d'explication. La courbe de productivité se trouve également sur la figure 19. Nous n'entrons pas ici dans les détails des modifications de la productivité au cours de l'année : un chapitre spécial (chapitre 5.3.6.1.) est consacré à ce problème. Nous nous limiterons à remarquer qu'un premier maximum important se situe vers le mois de juin et qu'un second, beaucoup plus réduit, est visible en septembre-octobre.

En nous référant au mécanisme de formation des bicarbonates (attaque des carbonates de la roche par le CO_2 dissous), on peut supposer que, si la végétation est abondante, elle utilise une quantité importante du CO_2 : le pH augmente (premier maximum en juin-juillet) mais la teneur en bicarbonates est faible en raison de la diminution du gaz carbonique. Ce processus permet donc d'expliquer l'absence d'un pic d'alcalinité au moment où la productivité primaire est maximale. Par contre, en octobre, le deuxième pic de productivité est très faible et l'alcalinité augmente parallèlement au pH.

Pendant la période hivernale et printanière, la température basse ne semble pas favorable à la dissolution des carbonates, d'où un pH faible et une teneur en bicarbonates minimale.

Conclusions

Dans les types d'eau naturels étudiés ici, l'alcalinité est essentiellement due à des bicarbonates et donc strictement liée à la teneur de la roche en carbonates. Il en résulte une répartition en classes assez régulièrement parallèles à celles du pH et corrélée à la géologie.

A partir des contrastes, 6 classes d'alcalinité ont été définies.

Les variations saisonnières ne sont pas parallèles à celles du pH pendant toute l'année; en effet, un seul maximum est noté en septembre-octobre contre deux pour le pH (juin-juillet et septembre-octobre). La prise en considération de l'effet des variations de la végétation algale sur l'équilibre CO_2 dissous-HCO_3^- permet d'expliquer en juin-juillet une alcalinité relativement faible pour des valeurs de pH élevées.

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	20.0	9.2	11.4	12.4	4.9	19.4	3.3	4.4	2.7	24.8	****	****	****	****	13.0	10.1	*6.3*
7606	14.7	4.4	15.1	13.5	2.2	13.5	6.0	5.5	1.7	25.9	****	****	****	****	10.3	8.7	*5.3*
7610	39.3	16.7	27.3	14.1	7.8	5.5	6.5	24.8	6.5	147.6	3.0	****	****	****	25.3	17.4	*11.4*
7704	20.5	7.6	11.9	14.1	2.7	18.9	3.8	6.0	3.8	25.9	5.5	20.0	9.8	****	11.9	12.1	*8.6*
7705	23.2	7.6	****	****	3.8	18.1	2.7	****	1.2	31.3	4.1	20.2	****	15.6	15.2	12.7	*10.3*
7706	19.7	8.1	****	****	3.3	13.0	4.4	****	4.9	32.7	6.5	22.1	****	****	12.4	12.7	*9.5*
7707	15.9	8.4	10.3	10.9	0.9	8.7	1.2	2.2	0.5	32.1	1.2	19.7	8.9	9.2	13.0	10.2	*10.3*
7727	16.2	10.3	****	****	3.3	17.8	5.5	****	5.5	30.7	6.0	24.3	****	****	14.1	13.4	*9.0*
7708	17.8	8.7	****	****	2.7	15.6	2.7	****	0.6	25.3	7.0	16.7	****	****	12.4	11.0	*8.0*
7709	15.7	7.6	****	****	3.8	8.4	3.8	****	1.7	32.1	6.5	21.6	****	****	11.1	11.2	*9.5*
7710	17.3	6.5	10.8	10.8	1.1	7.6	2.2	3.3	1.1	33.4	2.5	21.6	8.7	9.5	13.2	10.7	*10.7*
7711	17.3	8.7	****	****	4.4	19.4	4.9	****	7.1	26.7	8.7	20.5	****	****	14.3	13.2	*7.6*
7803	****	7.9	10.3	11.4	4.4	****	3.6	3.3	1.7	****	****	****	10.0	15.1	11.1	7.9	*4.4*
7804	****	7.3	9.2	9.7	4.4	16.5	3.9	4.4	2.7	21.1	****	****	10.8	14.1	10.6	7.7	*3.8*
7805	****	7.6	11.9	13.0	4.1	****	4.4	3.8	2.2	****	****	****	10.8	16.2	13.5	8.8	*4.9*
7806	****	6.0	8.9	6.4	3.3	****	3.2	3.4	1.5	****	****	****	9.3	11.1	13.8	6.7	*3.9*
7807	****	2.7	6.0	5.7	5.7	10.0	3.6	3.8	2.2	23.7	****	****	7.6	11.9	6.5	5.6	*2.8*
7808	****	1.9	4.1	4.4	2.7	****	2.5	1.9	0.5	****	****	****	6.2	6.8	8.4	4.0	*2.5*
7809	****	1.1	7.6	4.5	1.7	6.5	6.5	4.9	1.7	30.4	****	****	14.6	16.5	9.2	6.8	*5.3*
7810	****	4.1	6.0	5.4	4.4	****	3.8	4.6	1.7	****	****	****	9.7	16.7	7.1	6.4	*4.2*
7811	****	6.8	10.3	16.7	3.3	14.6	2.7	3.3	1.1	25.4	****	****	11.4	16.2	15.1	8.7	*6.0*
7812	****	11.4	14.1	18.9	6.5	****	6.0	7.1	6.5	****	****	****	14.6	22.7	15.1	12.3	*5.8*
7904	****	7.3	12.2	12.4	3.8	****	6.0	5.4	3.3	****	****	****	14.6	16.7	13.0	9.5	*4.8*
8007	17.0	10.3	10.8	13.0	6.0	18.9	8.1	7.1	7.1	21.9	12.4	17.8	16.7	15.7	11.4	-	-

x̄ et s	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252
1976	24.7	10.1	17.0	13.3	5.0	12.8	5.3	11.6	3.6	66.1	-	-	-	-	16.2
	12.9	*6.2*	*8.3*	*0.9*	*2.8*	*7.0*	*1.7*	*11.5*	*2.5*	*70.6*	-	-	-	-	*8.0*
1977	18.2	8.2	(11.0)	(11.9)	2.9	14.2	3.5	(3.8)	2.9	30.0	5.3	20.7	(9.1)	-	13.1
	2.5	*1.1*	*(0.8)*	*(1.9)*	*1.2*	*4.8*	*1.4*	*(2.0)*	*2.4*	*3.2*	*2.3*	*2.1*	*(0.6)*	-	*1.3*
1978	-	5.7	8.8	9.6	4.1	(11.9)	4.0	4.1	2.3	(25.2)	-	-	10.5	14.4	11.0
	-	*3.2*	*3.0*	*5.2*	*1.4*	*(4.5)*	*1.3*	*1.4*	*1.6*	*(3.9)*	-	-	*2.7*	*4.2*	*3.2*

Tableau 20 .- Variations stationnelles et saisonnières des sulfates pour 1976-1977-1978:
valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italiques)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	436.19	2	218.094		
station	1152.87	9	128.096	3.61	0.98
ms	638.78	18	35.488		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	111.80	8	13.9745		
station	6680.97	9	742.3295	140.35	0.00
ms	380.81	72	5.2890		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	445.69	9	49.5206		
station	1468.45	9	163.1608	36.36	0.00
ms	363.44	81	4.4869		

Tableau 21.- Analyse de la variance sur le tableau 20 . Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles des sulfates.

3.3.5. Sulfates (ppm - SO_4^{--})

Tests statistiques sur l'effet station (tableaux 20-21)

Le test de l'analyse de la variance est très significatif pour les 3 années (tableau 21).

Comme pour les paramètres précédents, il y a moins de contrastes significatifs en 1976 où nous ne disposons que de trois données. Pour cette même

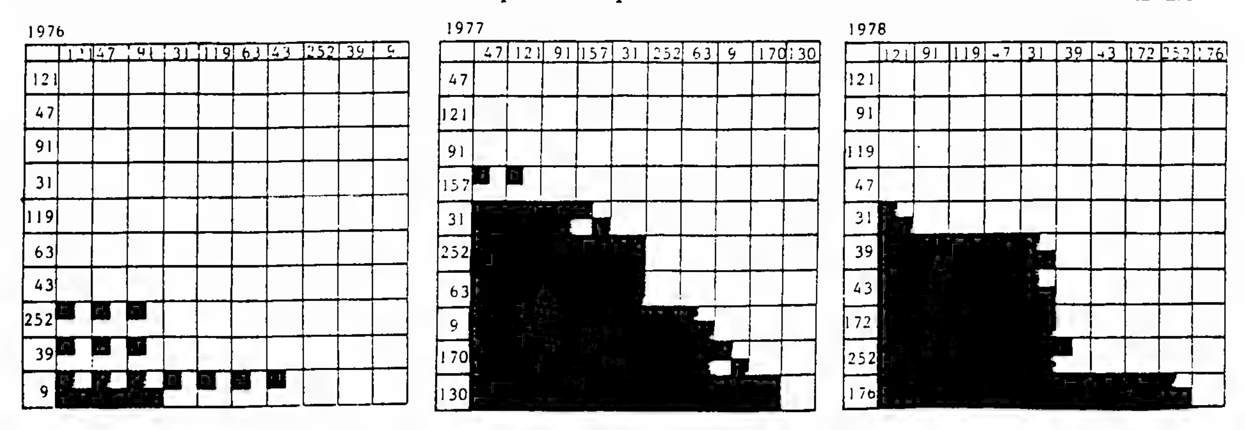


Figure 20.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes de sulfates en 1976, 1977 et 1978.

Paramètre : SULFATES (ppm SO_4^{--})							LIMITES DES CLASSES	
N°ST.	MOYENNES ANNUELLES 1976	1977	1978	MOYEN. GENER.	CONTRASTES 76 77 78	Classe	VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTRÊMES (en crue) conditions normales (en étiage)
121	3.6	2.9	2.3	2.7				
47	5.0	2.9	4.1	3.7				
91	5.3	3.5	4.0	4.0		1	2.2- 9.3	(-) 0.3-14.3(24.8)
157	-	5.3	-	5.3				
119	11.6	3.8	4.1	5.4				
31	10.1	8.2	5.7	7.3				
172	-	9.1	10.5	10.2				
43	13.3	11.9	9.6	10.8				
39	17.9	11.0	8.8	11.0		2	9.6-18.0	(-) 4.1-22.7(31.8)
252	16.2	13.1	11.0	12.6				
63	12.8	14.2	11.9	13.3				
176	-	11.4	14.7	14.0				
9	24.7	18.2	-	19.8				
170	-	20.7	-	20.7		3	18.2-30.0	(10.3)14.1-33.4(49.0)
130	-	30.0	25.2	28.1				

Tableau 22.- Répartition en classes des valeurs moyennes de sulfates sur base des contrastes pour les prélèvements de 1976, 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.

année, nous avons écarté la station 130 pour laquelle une valeur très élevée et inexpliquée de 147.6 ppm a été enregistrée au mois d'octobre.

Le tableau 22 issu des contrastes nous amène à conserver trois classes pour ce paramètre. A part la station 172, les eaux de toutes les autres stations des classes 2 et 3 (valeurs élevées en sulfates) sont en contact plus ou moins prolongé avec le Revinien (2 et 3), ce qui peut être expliqué par la présence de microcristaux de pyrite (FeS_2) dans ces roches.

Variations saisonnières (figure 21)

En considérant les valeurs moyennes données dans le tableau 20, on peut distinguer :

- en 1976, une diminution en juin suivie d'une forte augmentation en octobre, au moment de l'étiage exceptionnel (de 8.7 ppm en juin à 17.4 en octobre);
- en 1977, une moyenne assez constante correspondant à une pluviosité importante pendant toute l'année donc à des débits assez réguliers, pourtant légèrement inférieure de juillet à octobre;
- en 1978, une diminution sensible de juin à octobre.

Rappelons que les valeurs moyennes toujours plus faibles en 1978 correspondent à un autre assortiment de stations et non à une variation interannuelle : celle-ci est en effet très faible si l'on se réfère aux stations suivies pendant les trois années (valeurs moyennes par station dans le tableau 20).

La figure 21 illustre les variations saisonnières des valeurs moyennes en sulfates pour 1977 et 1978 et reprend les courbes issues du modèle mis au point pour le pH (rapport température moyenne de l'eau/pluviosité moyenne, chapitre 3.3.3.).

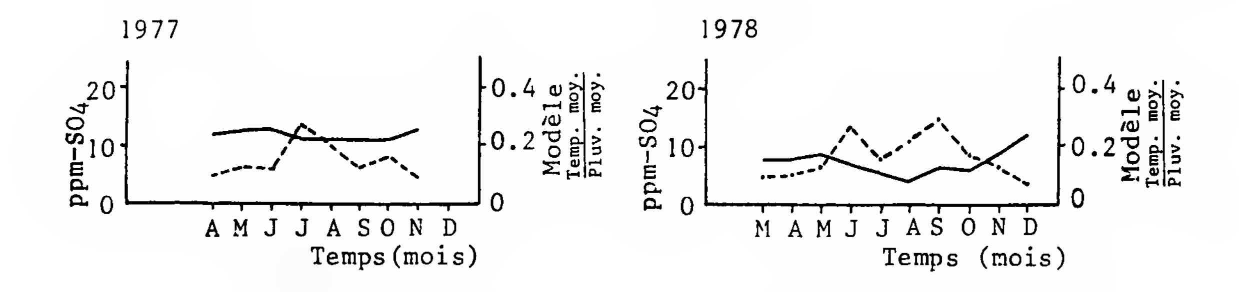


Figure 21.- Variations saisonnières en 1977 et 1978 des teneurs en sulfates pour les 15 stations du tableau 20. Comparaison avec les valeurs du modèle $\frac{\text{température moyenne de l'eau}}{\text{pluviosité moyenne}}$.

Cette figure montre que la diminution systématique de juin à octobre correspond à des valeurs élevées du modèle, donc à l'augmentation de la température et à la diminution de la pluviosité pendant l'été.

Conclusions

A l'aide des contrastes, trois classes de valeurs de sulfates ont été définies. Les variations saisonnières se font dans un sens opposé aux variations de pH et d'alcalinité, avec une diminution systématique des teneurs pendant la période estivale.

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	3.2	2.6	2.7	2.4	2.2	4.7	2.1	1.4	1.9	9.3	****	****	****	****	1.6	3.1	*2.2*
7606	3.4	2.0	2.8	2.0	1.7	4.3	3.0	1.6	3.0	8.1	****	****	****	****	1.5	3.0	*1.9*
7610	10.8	5.3	6.3	3.9	3.7	4.1	5.3	8.7	3.7	17.4	5.1	****	****	****	5.5	6.8	*4.2*
7704	3.5	3.2	3.7	2.6	2.1	5.9	2.5	3.5	2.6	15.0	5.3	9.3	2.9	****	1.4	5.1	*4.2*
7705	4.7	1.8	****	****	1.9	4.4	2.3	****	2.1	12.9	4.0	8.0	****	****	1.8	4.4	*3.6*
7706	3.8	2.3	****	****	2.9	4.1	3.1	****	3.1	12.4	4.4	8.8	****	****	1.3	4.6	*3.4*
7707	3.5	2.2	2.4	1.9	2.0	3.7	3.6	1.5	2.2	8.9	3.6	7.4	2.5	4.0	1.0	3.8	*2.5*
7727	3.4	2.6	****	****	2.6	5.4	3.5	****	2.9	15.5	5.1	9.7	****	****	1.7	5.2	*4.3*
7708	3.2	2.8	****	****	2.7	4.7	2.9	****	2.8	11.8	4.8	6.9	****	****	1.6	4.4	*3.0*
7709	2.9	3.1	****	****	3.3	4.4	3.3	****	2.4	9.4	4.4	6.2	****	****	1.4	4.1	*2.3*
7710	2.5	2.2	3.0	2.5	2.2	3.9	3.3	1.3	2.2	10.0	4.3	6.8	3.6	3.2	1.5	3.9	*2.6*
7711	2.6	2.3	****	****	2.1	5.4	2.9	****	2.9	13.6	6.8	8.3	****	****	1.3	4.8	*3.8*
7803	****	2.6	2.8	2.2	2.5	****	2.6	2.1	2.6	****	****	****	3.2	4.1	1.8	2.7	*0.6*
7804	****	1.8	2.1	1.6	1.9	5.7	1.9	1.5	2.2	11.3	****	****	3.0	3.3	1.2	2.1	*0.7*
7805	****	2.4	2.7	2.3	2.7	****	2.7	2.6	2.7	****	****	****	3.9	4.8	1.6	2.8	*0.9*
7806	****	3.2	2.4	2.4	3.1	****	3.1	2.0	2.4	****	****	****	3.2	3.5	2.0	2.7	*0.5*
7807	****	2.5	2.3	2.2	2.7	4.2	3.0	2.5	2.8	9.2	****	****	3.4	5.9	1.4	3.0	*1.2*
7808	****	2.4	2.5	1.5	2.4	****	2.5	1.1	1.8	****	****	****	2.6	2.3	0.7	2.0	*0.7*
7809	****	3.0	3.2	2.6	3.1	4.0	4.0	2.7	2.5	9.0	****	****	5.0	6.2	1.9	3.4	*1.3*
7810	****	2.8	2.9	1.8	2.8	****	3.8	2.3	2.4	****	****	****	4.0	7.4	1.3	3.2	*1.7*
7811	****	2.7	2.7	2.4	2.6	4.6	3.3	1.7	2.2	10.8	****	****	3.2	4.2	1.4	2.6	*0.8*
7812	****	3.2	2.7	2.1	2.8	****	2.8	2.9	2.9	****	****	****	3.7	6.4	1.6	3.1	*1.3*
7904	****	2.3	2.4	1.9	2.4	****	2.5	1.7	2.5	****	****	****	3.0	3.4	1.9	2.4	*0.5*
8007	2.0	2.9	2.3	2.1	2.4	5.4	2.7	3.4	3.4	10.8	5.9	6.7	4.0	4.3	1.3	-	-

x̄ et s	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252
1976	5.8	3.3	3.9	2.8	2.5	4.4	3.5	3.9	2.9	11.6	-	-	-	-	2.9
	4.3	*1.8*	*2.1*	*1.0*	*1.0*	*0.3*	*1.7*	*4.2*	*0.9*	*5.1*	-	-	-	-	*2.3*
1977	3.3	2.5	(3.0)	(2.3)	2.4	4.7	3.0	(2.1)	2.6	12.2	4.7	7.9	(3.0)	-	1.4
	0.7	*0.5*	*(0.7)*	*(0.4)*	*0.5*	*0.8*	*0.4*	*(1.2)*	*0.4*	*2.4*	*0.9*	*1.2*	*(0.6)*	-	*0.2*
1978	-	2.7	2.6	2.1	2.7	(4.6)	3.1	2.1	2.5	(10.1)	-	-	3.5	4.8	1.5
	-	*0.4*	*0.3*	*0.4*	*0.4*	*(0.8)*	*0.7*	*0.6*	*0.3*	*(1.1)*	-	-	*0.7*	*1.6*	*0.4*

Tableau 23.- Variations stationnelles et saisonnières du calcium pour 1976-1977-1978:
valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italiques)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	101.653	2	50.8264		
station	201.341	10	20.1341	6.93	0.01
ms	58.074	20	2.9037		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	20.414	8	2.55175		
station	859.043	9	95.44920	118.96	0.00
ms	57.768	72	0.80234		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	19.002	9	2.11138		
station	74.130	9	8.23671	29.29	0.00
ms	22.776	81	0.28118		

Tableau 24.- Analyse de la variance sur le tableau 23. Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles de calcium.

3.3.6. Calcium (ppm-Ca^{++}) (tableaux 23-25)

Le test de l'analyse de la variance est très significatif pour les trois années. Il y a peu de contrastes significatifs en 1976 en raison des valeurs très élevées à la station 130 (figure 22).

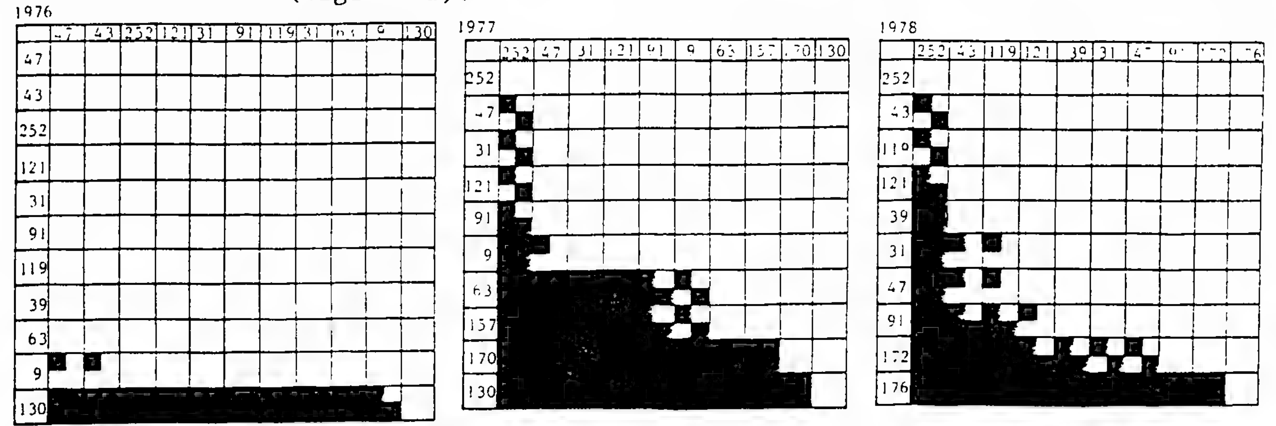


Figure 22.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes de calcium en 1976, 1977 et 1978.

Paramètre : CALCIUM (ppm Ca^{++})								LIMITES DES CLASSES	
N°ST.	MOYENNES ANNUELLES			MOYEN.	CONTRASTES			VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)
	1976	1977	1978	GENER.	76	77	78		
252	2.9	1.4	1.5	1.7				1 1.4- 2.1	(-) 0.7- 2.7(5.5)
43	2.8	2.3	2.1	2.3					
119	3.9	2.1	2.1	2.5					
47	2.5	2.4	2.7	2.6					
121	2.9	2.6	2.5	2.6					
31	3.3	2.5	2.7	2.7					
39	3.9	3.0	2.6	3.0				2 2.2- 7.3	(-) 1.1- 7.4(10.8)
91	3.5	3.0	3.1	3.1					
172	-	3.0	3.5	3.4					
9	5.8	3.3	-	4.0					
176	-	3.6	4.8	4.5					
63	4.4	4.7	4.6	4.6					
157	-	4.7	-	4.7					
170	-	7.9	-	7.9				3 7.9- 8.4	(-) 6.0- 9.7(10.6)
130	11.6	12.2	10.1	11.5				4 10.1-12.2	(-) 8.1-16.8(17.4)

Tableau 25.- Répartition en classe des valeurs moyennes de calcium sur base des contrastes pour les prélèvements de 1976, 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.

Nous pouvons distinguer quatre classes de valeurs de calcium. Il est intéressant de noter que les stations 170 et 130 (classes 3 et 4), présentant toujours des teneurs en calcium plus élevées que dans les autres stations, sont précisément en contact avec des massifs de silex encore légèrement carbonatés.

Les valeurs moyennes générales (tableau 23) montrent des variations interannuelles très faibles et une évolution saisonnière irrégulière, sans augmentation localisée à un moment particulier (par exemple, maximums en avril, juin, août et octobre 1977 et en mars, mai, juillet, septembre et décembre 1978).

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	1.1	1.5	1.1	1.2	1.4	1.6	2.0	1.1	1.5	3.3	****	****	****	****	1.0	1.5	*0.7*
7606	0.6	0.9	0.6	0.7	0.8	1.4	2.5	0.8	1.3	4.2	****	****	****	****	0.5	1.3	*1.1*
7610	2.9	2.9	2.2	1.8	1.8	2.0	4.0	2.9	1.9	10.8	4.3	****	****	****	2.3	3.2	*2.6*
7704	1.3	1.6	1.3	1.3	1.6	1.9	2.2	1.4	1.7	2.5	3.7	2.1	2.0	****	1.0	2.0	*0.8*
7705	0.6	0.5	****	****	0.5	0.8	1.4	****	0.7	2.6	4.0	3.3	****	0.6	0.0	1.5	*1.4*
7706	0.5	0.6	****	****	0.7	1.4	1.7	****	1.0	2.5	2.8	1.8	****	****	0.3	1.3	*0.9*
7707	1.7	1.0	0.3	0.5	1.2	2.4	3.1	1.6	2.0	4.1	3.5	3.0	1.2	0.4	0.7	2.3	*1.1*
7727	0.6	0.9	****	****	1.0	1.2	2.0	****	1.5	1.9	2.6	1.6	****	****	0.4	1.4	*0.7*
7708	2.5	1.2	****	****	1.2	1.5	2.5	****	1.7	2.1	3.2	1.9	****	****	0.6	1.8	*0.8*
7709	1.2	2.1	****	****	2.2	2.4	3.0	****	2.0	5.0	4.2	2.8	****	****	1.5	2.6	*1.2*
7710	1.0	1.7	1.5	1.5	1.6	2.0	3.0	1.4	1.8	4.6	4.0	2.9	2.2	1.2	1.3	2.4	*1.2*
7711	0.8	1.1	****	****	1.1	1.5	2.3	****	1.6	2.1	3.4	1.8	****	****	0.6	1.6	*0.8*
7803	****	1.1	0.8	0.9	1.2	****	1.8	0.9	1.4	****	****	****	1.8	1.0	0.5	1.1	*0.4*
7804	****	1.1	0.7	0.2	0.4	1.3	1.4	0.0	0.7	2.4	****	****	1.2	0.2	0.0	0.6	*0.5*
7805	****	2.5	1.5	1.4	1.6	****	2.4	1.3	1.7	****	****	****	2.1	1.5	0.9	1.7	*0.5*
7806	****	2.0	0.9	1.2	1.7	****	2.4	1.3	1.6	****	****	****	2.0	1.2	0.6	1.5	*0.6*
7807	****	0.9	0.3	0.5	0.9	2.1	2.2	0.8	1.0	3.5	****	****	1.3	0.8	0.0	0.9	*0.6*
7808	****	1.0	0.4	0.4	1.0	****	1.7	0.4	0.7	****	****	****	1.1	0.2	0.3	0.7	*0.5*
7809	****	1.7	1.2	1.2	2.0	1.6	2.9	1.2	1.4	4.4	****	****	2.0	1.2	0.6	1.5	*0.6*
7810	****	1.6	1.4	1.1	1.5	****	2.8	1.2	1.3	****	****	****	1.9	1.5	0.7	1.5	*0.6*
7811	****	1.4	0.9	1.1	1.2	1.7	2.5	1.2	1.4	2.4	****	****	1.9	1.2	0.7	1.4	*0.5*
7812	****	1.9	0.9	0.9	1.3	****	2.2	1.2	1.5	****	****	****	1.8	1.2	0.5	1.3	*0.5*
7904	****	1.7	0.8	1.0	1.5	****	2.2	1.1	1.7	****	****	****	2.0	1.2	0.7	1.4	*0.5*
8007	0.6	1.5	1.0	1.0	1.5	1.8	2.3	1.2	1.8	2.1	3.6	1.9	2.4	1.2	0.7	-	-
x̄ et s																	
1976	1.5	1.8	1.3	1.2	1.3	1.7	2.8	1.6	1.6	6.1	-	-	-	-	1.3		
	1.2	*1.0*	*0.8*	*0.6*	*1.5*	*0.3*	*1.0*	*1.1*	*0.3*	*4.1*	-	-	-	-	*0.9*		
1977	1.1	1.2	(1.0)	(1.1)	1.2	1.7	2.4	(1.5)	1.5	3.0	3.5	2.4	(1.8)	-	0.7		
	0.6	*0.5*	*(0.5)*	*(0.5)*	*0.5*	*0.5*	*0.6*	*(0.1)*	*0.4*	*1.2*	*0.6*	*0.6*	*(0.5)*	-	*0.5*		
1978	-	1.5	0.9	0.9	1.3	(1.7)	2.2	1.0	1.3	(3.2)	-	-	1.7	1.0	0.5		
	-	*0.5*	*0.4*	*0.4*	*0.5*	*(0.3)*	*0.5*	*0.4*	*0.4*	*(1.0)*	-	-	*0.4*	*0.5*	*0.3*		

Tableau 26 .- Variations stationnelles et saisonnières du magnésium pour 1976-1977-1978

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italiques)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROP. %
mois	24.405	2	12.2027		
station	60.876	10	6.0876	5.19	0.09
ms	23.468	20	1.1734		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	18.282	8	2.28525		
station	66.265	9	7.36277	35.75	0.00
ms	14.829	72	0.20596		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	12.8161	9	1.424011		
station	22.3641	9	2.484900	64.99	0.00
ms	3.0969	81	0.038233		

Tableau 27.- Analyse de la variance sur le tableau 26 . Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles du magnésium.

3.3.7. Magnésium (ppm-Mg^{++}) (tableaux 26-28)

Le test de l'analyse de la variance est très significatif pour les trois années (tableau 27). Les contrastes significatifs (figure 23) sont peu nombreux en 1976 pour la même raison que le calcium (valeur très élevée à la station 130 en octobre 1976).

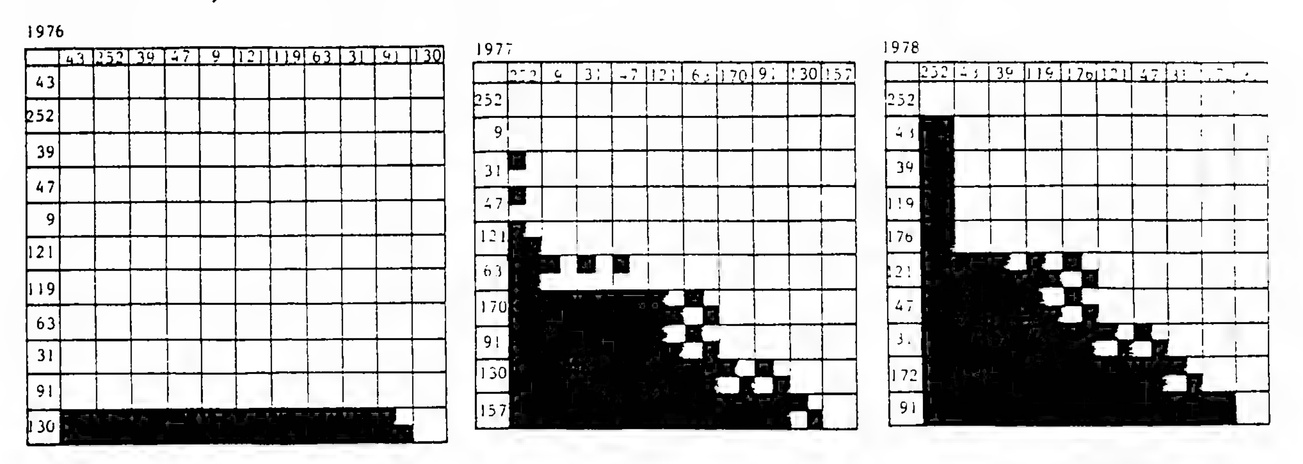


Figure 23.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes de magnésium en 1976, 1977 et 1978.

Paramètre : MAGNESIUM (ppm Mg^{++})						LIMITES DES CLASSES	
N° ST.	MOYENNES ANNUELLES 1976	1977	1978	MOYEN. GENER.	CONTRASTES 76 77 78	VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)
252	1.3	0.7	0.5	0.7			
176	-	0.7	1.0	0.9			
43	1.2	1.1	0.9	1.0			
39	1.3	1.0	0.9	1.0			
119	1.6	1.5	1.0	1.2			
9	1.5	1.1	-	1.2		**1** 0.5- 1.8	(-) 0.0- 2.5(4.0)
47	1.3	1.2	1.3	1.3			
121	1.6	1.5	1.3	1.4			
31	1.8	1.2	1.5	1.4			
63	1.7	1.7	1.7	1.7			
172	-	1.8	1.7	1.7			
170	-	2.4	-	2.4		**2** 1.9- 2.8	(-) 1.0- 3.3(4.7)
91	2.8	2.4	2.2	2.4			
157	-	3.5	-	3.5		**3** 3.0- 5.0	(-) 2.2- 4.4(10.8)
130	6.1	3.0	3.2	4.4			

Tableau 28.- Répartition en classes des valeurs moyennes de magnésium sur base des contrastes pour les prélèvements de 1976, 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.

Les valeurs moyennes peuvent être réparties en trois classes. La classe 1 rassemble les ruisseaux coulant sur le Revinien, le Salmien et le Siegenien. On remarquera la présence de teneurs plus élevées en magnésium aux stations 170 et 130 (contact avec des massifs de silex) et aux stations 91 et 157 (sur l'Emsien).

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	2.0	1.3	1.6	1.1	0.9	0.4	0.5	0.5	0.8	1.0	****	****	****	****	1.4	1.0	*0.5*
7606	0.2	0.3	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.3	****	****	****	****	0.5	0.3	*0.1*
7610	0.2	0.9	1.0	1.6	0.2	0.1	0.0	0.2	0.2	1.5	0.2	****	****	****	0.6	0.6	*0.5*
7704	0.1	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	****	0.1	0.1	*0.1*
7705	0.1	0.3	****	****	0.1	0.0	0.0	****	0.0	0.2	0.2	0.1	****	****	0.2	0.1	*0.4*
7706	1.1	1.1	****	****	0.5	0.0	0.1	****	0.1	0.2	0.0	0.0	****	****	0.3	0.4	*0.4*
7707	0.3	1.0	0.4	0.3	0.5	0.0	0.2	0.2	0.0	0.6	0.0	0.0	0.2	0.1	0.5	0.3	*0.3*
7727	0.3	1.0	****	****	0.5	0.1	0.4	****	0.3	0.6	0.2	0.1	****	****	0.8	0.4	*0.3*
7708	0.5	1.4	****	****	0.5	0.0	0.1	****	0.3	0.6	0.2	0.0	****	****	0.6	0.4	*0.4*
7709	0.3	1.4	****	****	0.5	0.1	0.1	****	0.1	1.4	0.2	0.1	****	****	0.6	0.5	*0.5*
7710	0.3	0.9	1.0	2.0	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.8	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6	0.3	*0.3*
7711	0.3	0.5	****	****	0.2	0.1	0.1	****	0.2	0.2	0.1	0.1	****	****	0.6	0.2	*0.2*
7803	****	0.3	0.3	0.3	0.2	****	0.1	0.2	0.0	****	****	****	0.1	0.1	0.4	0.1	*0.1*
7804	****	0.3	0.4	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	****	****	0.1	0.1	0.3	0.1	*0.1*
7805	****	0.6	0.5	0.7	0.3	****	0.1	0.2	0.1	****	****	****	0.2	0.1	0.5	0.2	*0.2*
7806	****	1.2	0.5	1.8	0.4	****	0.1	0.3	0.2	****	****	****	0.1	0.1	0.7	0.6	*0.6*
7807	****	0.8	0.6	1.4	0.6	0.0	0.2	0.3	0.3	1.2	****	****	0.3	0.3	0.7	0.4	*0.4*
7808	****	1.9	1.5	1.4	0.5	****	0.1	0.4	0.4	****	****	****	0.2	0.1	0.5	0.6	*0.6*
7809	****	1.0	1.5	1.6	0.4	0.1	0.2	0.4	0.2	1.2	****	****	0.3	0.2	0.8	0.5	*0.5*
7810	****	0.5	1.3	0.9	0.3	****	0.2	0.4	0.3	****	****	****	0.2	0.2	1.0	0.4	*0.4*
7811	****	0.2	0.6	0.5	0.4	0.3	0.1	0.3	0.2	0.7	****	****	0.1	0.3	0.5	0.2	*0.2*
7812	****	0.2	0.4	0.4	0.2	****	0.0	0.2	0.2	****	****	****	0.1	0.2	0.3	0.1	*0.1*
7904	****	0.2	0.2	0.3	0.0	****	0.1	0.1	0.2	****	****	****	0.2	0.2	0.5	0.1	*0.1*
8007	0.1	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	-	-
x̄ et s																	
1976	0.8	0.8	1.0	1.0	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.9	-	-	-	-	0.8		
	1.0	*0.6*	*0.6*	*0.7*	*0.4*	*0.2*	*0.3*	*0.3*	*0.2*	*0.4*	*0.4*	*0.6*	-	-	*0.5*		
1977	0.4	0.9	(0.6)	(0.8)	0.3	0.04	0.1	(0.2)	0.1	0.5	0.1	0.1	(0.2)	-	0.5		
	0.3	*0.5*	*(0.4)*	*(1.0)*	*0.2*	*0.1*	*0.1*	*(0.1)*	*0.1*	*0.4*	*0.1*	*0.1*	*(0.1)*	-	*0.2*		
1978	-	0.7	0.8	0.9	0.3	(0.1)	0.1	0.3	0.2	(0.9)	-	-	0.2	0.2	0.6		
	-	*0.5*	*0.5*	*0.6*	*0.2*	*(0.1)*	*0.1*	*0.1*	*0.1*	*(0.4)*	-	-	*0.1*	*0.1*	*0.2*		

Tableau 29.- Variations stationnelles et saisonnières du fer pour 1976-1977-1978:
valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italiques)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	3.2461	2	1.62303		
station	3.1255	10	0.31255	2.04	8.42
ms	3.0673	20	0.15336		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	1.5502	8	0.193778		
station	5.5338	9	0.614864	13.69	0.00
ms	3.2342	72	0.044920		

1978

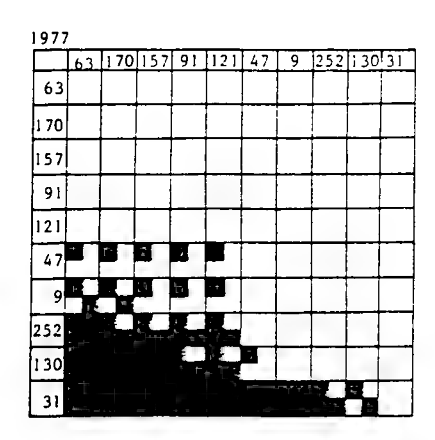
SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	3.4836	9	0.387067		
station	7.7496	9	0.861067	13.21	0.00
ms	5.2784	81	0.065165		

Tableau 30.- Analyse de la variance sur le tableau 29. Test de l'effet station pour les valeurs moyennes du fer.

3.3.8. Fer (ppm-Fe)

Tests statistiques sur l'effet station (tableaux 29-30)

Le test de l'analyse de la variance n'est pas significatif en 1976 (8.42 %). En 1977 et 1978, les contrastes (figure 24) mettent en évidence deux groupes de stations auxquelles nous faisons correspondre deux classes de valeurs moyennes (tableau 31). Les valeurs élevées correspondent aux ruisseaux



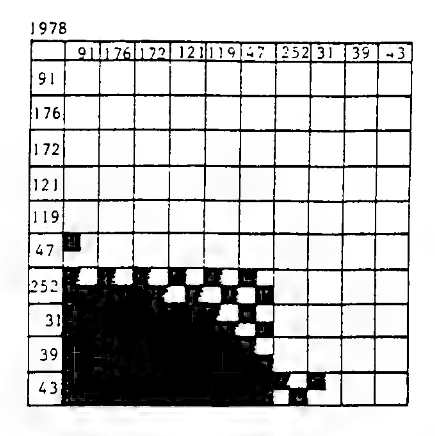


Figure 24.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes du fer en 1977 et 1978.

Paramètre : FER (ppm)						LIMITES DES CLASSES		
N°ST.	MOYENNES ANNUELLES 1976	1977	1978	MOYEN. GENER.	CONTRASTES 76 77 78		VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)
170	-	0.1	-	0.1	NON SIGNIFICATIF	1	0.0- 0.5	(-) 0.0- 1.2(-)
63	0.2	0.0	0.1	0.1				
157	-	0.1	-	0.1				
91	0.2	0.1	0.1	0.1				
172	-	0.2	0.2	0.2				
176	-	0.1	0.2	0.2				
121	0.4	0.1	0.2	0.2				
119	0.3	0.2	0.3	0.3				
47	0.4	0.3	0.3	0.4				
9	0.8	0.4	-	0.5		2	0.6- 2.8	(-) 0.0- 2.0(7.2)
252	0.8	0.5	0.6	0.6				
130	0.9	0.5	0.9	0.7				
39	1.0	0.6	0.8	0.8				
31	0.8	0.9	0.7	0.8				
43	1.0	0.8	0.9	0.9				

Tableau 31.- Répartition en classes des valeurs moyennes du fer sur base des contrastes pour les prélèvements de 1976, 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.





coulant en grande partie sur Rv_2 (présence de pyrite) et prenant leur source dans des tourbières très acides. Pour les autres terrains, les teneurs en fer des eaux sont très basses. Cet élément caractérise bien les stations, les variations interannuelles étant relativement faibles.

Variations saisonnières (figure 25)

Dans toutes les stations, il y a une augmentation estivale des teneurs en fer en 1977 et 1978. Le parallélisme entre leur évolution saisonnière et le modèle évoqué pour le pH est frappant avec deux maximums pour les deux années en juin-juillet et en août-septembre-octobre. C'est également pendant ces périodes plus chaudes et à débit plus faible que se développent, parfois de façon spectaculaire, des bactéries ferrugineuses (notamment en octobre 1976).

Ces conclusions ne correspondent pas avec les observations de BULDGEN (1983) qui mesure des teneurs en fer élevées dans les eaux de ruissellement.

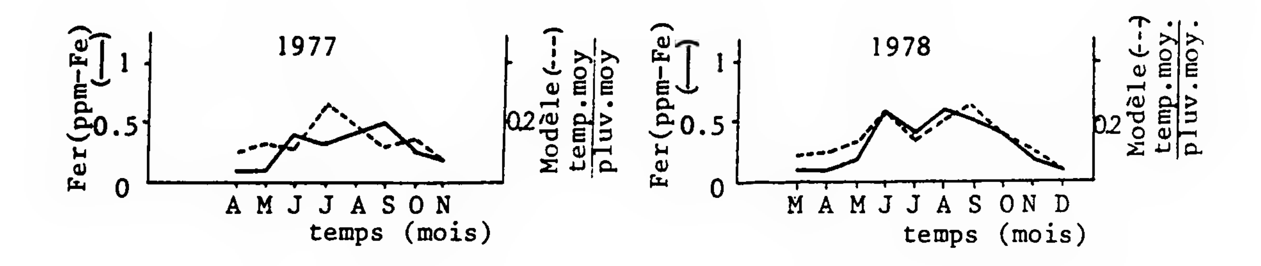


Figure 25.- Variations saisonnières en 1977 et 1978, des teneurs moyennes en fer pour les stations du tableau 29. Comparaison avec les valeurs du modèle $\frac{\text{température moyenne de l'eau}}{\text{pluviosité moyenne}}$

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	****	****	****	****	****	****	****	*****	****	****	****	****	****	****	-	-	-
7606	0.8	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	****	****	****	****	-	-	-
7610	****	****	****	****	****	****	****	*****	****	****	****	****	****	****	-	-	-
7704	0.7	0.5	0.6	1.2	0.0	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	****	0.4	0.2	*0.3*
7705	1.2	0.2	****	****	0.1	1.0	0.0	****	0.0	0.0	0.0	0.1	****	****	0.9	0.4	*0.5*
7706	0.9	0.2	****	****	0.9	0.2	0.0	****	0.1	0.2	0.0	0.1	****	****	0.7	0.2	*0.3*
7707	0.4	0.1	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.1	*0.2*
7727	0.9	0.2	****	****	0.0	0.5	0.0	****	0.1	0.5	0.0	0.2	****	****	0.6	0.3	*0.3*
7708	1.0	0.2	****	****	0.0	0.6	0.0	****	0.0	0.3	0.0	0.1	****	****	0.8	0.3	*0.4*
7709	0.7	0.1	****	****	0.0	0.0	0.0	****	0.0	0.1	0.0	0.0	****	****	0.5	0.1	*0.3*
7710	0.9	0.1	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.7	0.2	*0.3*
7711	1.4	0.2	****	****	0.1	0.8	0.4	****	0.6	0.7	0.4	0.8	****	****	1.1	0.7	*0.4*
7803	****	0.1	0.6	0.8	0.0	****	0.0	0.0	0.0	****	****	****	0.0	1.1	0.8	0.3	*0.4*
7804	****	0.2	0.5	0.7	0.1	0.6	0.0	0.1	0.1	0.3	****	****	0.1	0.9	0.8	0.4	*0.3*
7805	****	0.2	0.6	0.9	0.0	****	0.0	0.1	0.0	****	****	****	0.1	1.0	0.7	0.4	*0.4*
7806	****	0.3	0.4	0.6	0.0	****	0.0	0.0	0.0	****	****	****	0.1	0.5	0.6	0.3	*0.3*
7807	****	0.1	0.3	0.4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	****	****	0.1	0.4	0.5	0.2	*0.2*
7808	****	0.2	0.2	0.2	0.0	****	0.0	0.0	0.0	****	****	****	0.1	0.3	0.4	0.1	*0.1*
7809	****	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	****	****	0.3	0.3	0.4	0.1	*0.1*
7810	****	0.1	0.2	0.2	0.1	****	0.0	0.1	0.1	****	****	****	0.1	0.7	0.6	0.2	*0.2*
7811	****	0.1	0.4	0.9	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	****	****	0.0	0.9	0.8	0.3	*0.4*
7812	****	0.2	0.7	1.2	0.1	****	0.0	0.1	0.2	****	****	****	0.1	1.6	0.8	0.5	*0.6*
7904	****	0.1	0.6	0.9	0.0	****	0.0	0.1	0.1	****	****	****	0.0	1.1	0.8	0.4	*0.4*
8007	0.8	0.3	0.6	0.7	0.1	0.6	0.0	0.3	0.2	0.2	0.0	0.2	0.4	0.8	0.8	-	-
x̄ et s																	
1977	0.9	0.2	(0.3)	(0.7)	0.02	0.4	0.04	(0.03)	0.1	0.2	0.04	0.2	(0.03)	-	0.7		
	0.3	*0.1*	*(0.3)*	*(0.5)*	*0.04*	*0.4*	*0.1*	*(0.1)*	*0.2*	*0.2*	*0.1*	*0.2*	*(0.1)*	-	*0.2*		
1978	-	0.2	0.4	0.6	0.04	(0.2)	0.0	0.1	0.1	(0.2)	-	-	0.1	0.8	0.6		
	-	*0.1*	*0.2*	*0.4*	*0.1*	*(0.3)*	*0.0*	*0.1*	*0.1*	*(0.1)*	-	-	*0.1*	*0.4*	*0.2*		

Tableau 32.- Variations stationnelles et saisonnières de l'aluminium pour 1977-1978:

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italiques)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	2.0296	8	0.253694		
station	7.2156	9	0.801728	32.60	0.00
ms	1.7704	72	0.024590		

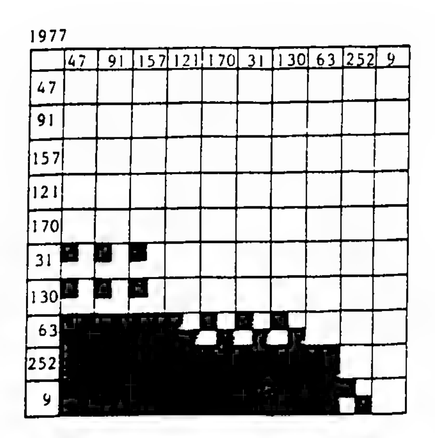
1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	1.1569	9	0.128544		
station	7.7509	9	0.861211	29.74	0.00
ms	2.3861	81	0.029458		

Tableau 33.- Analyse de la variance sur le tableau 32 . Test de l'effet station pour les valeurs moyennes mensuelles de l'aluminium.

3.3.9. Aluminium (ppm-Al) (tableaux 32-34)

Ce paramètre n'a pas été mesuré en 1976. Pour 1977 et 1978, le test de l'analyse de la variance est très significatif et comme pour le fer, on peut retenir deux classes de valeurs moyennes (tableau 34); la classe 2 rassemble



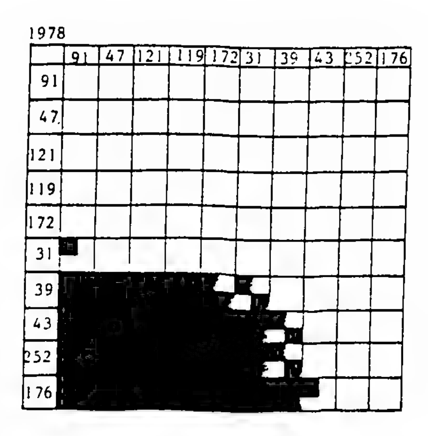
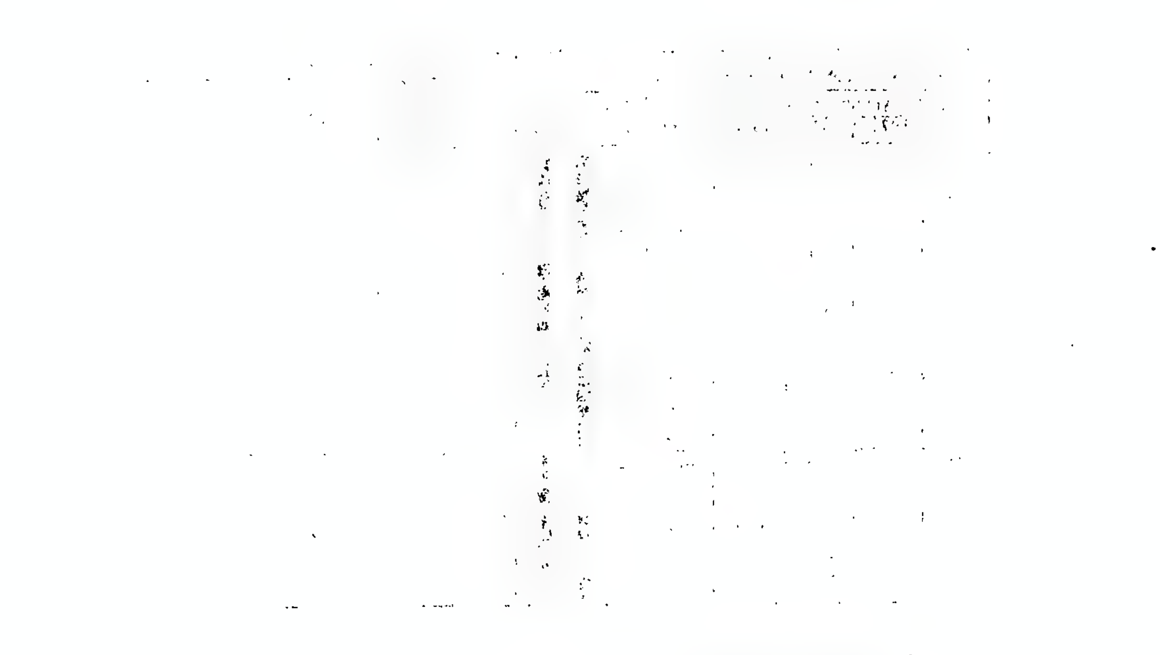


Figure 26.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes d'aluminium en 1977 et 1978.

Paramètre : ALUMINIUM (ppm-Al^{+++})						LIMITES DES CLASSES	
N°ST.	MOYENNES ANNUELLES 1976	1977	1978	MOYEN. GENER.	CONTRASTES 76 77 78	VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)
91	-	0.0	0.0	0.0	-		
47	-	0.0	0.0	0.0	-		
157	-	0.0	-	0.0	-		
119	-	0.0	0.1	0.0	-		
121	-	0.1	0.1	0.1	-	1 0.0- 0.3	(-) 0.0- 1.0(-)
172	-	0.0	0.1	0.1	-		
170	-	0.2	-	0.2	-		
31	-	0.2	0.2	0.2	-		
130	-	0.2	0.2	0.2	-		
63	-	0.4	0.2	0.3	-		
39	-	0.3	0.4	0.4	-		
43	-	0.7	0.6	0.6	-		
252	-	0.7	0.6	0.7	-	2 0.4- 1.1	(-) 0.1- 1.6(-)
176	-	0.5	0.8	0.7	-		
9	-	0.9	-	0.9	-		

Tableau 34.- Répartition en classes des valeurs moyennes d'aluminium sur base des contrastes pour les prélèvements de 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.





encore plus nettement les ruisseaux dont la majorité du cours en amont de la station de prélèvement est sur Rv_2, soit exactement les stations regroupées dans les deux premières classes de pH (9, 39, 43, 176 et 252).

Les variations interannuelles (tableau 32) sont très faibles et ce paramètre caractérise donc bien les stations. Les variations saisonnières sont très faibles : il n'y a pas d'évolution particulière des teneurs moyennes en 1977 et une légère diminution se dessine de juillet à octobre 1978. Des teneurs plus élevées correspondent à la période hivernale, quand les débits sont plus importants. BULDGEN (1983) montre que les teneurs en aluminium dans l'exutoire d'un bassin versant du plateau des Hautes-Fagnes augmentent en période de crue.

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	6.1	3.3	2.8	2.8	2.2	6.1	4.4	5.5	5.0	11.6	****	****	****	*****	2.8	5.0	*2.6*
7606	4.1	1.5	3.6	3.6	2.0	5.1	3.6	4.9	4.4	10.2	****	****	****	*****	2.6	4.1	*2.3*
7610	6.0	8.5	6.0	5.5	3.5	4.5	4.5	13.0	8.5	11.0	7.5	****	****	*****	4.5	6.9	*3.0*
7704	5.4	3.6	5.4	4.2	4.2	10.1	5.4	6.5	6.5	17.9	14.3	19.6	5.4	****	2.4	8.9	*6.7*
7705	1.8	2.4	****	****	3.6	5.4	3.6	****	3.0	7.7	6.0	8.9	****	****	1.8	4.4	*2.5*
7706	3.0	1.8	****	****	3.0	5.4	3.6	****	4.2	8.9	8.9	11.3	****	****	2.4	5.3	*3.3*
7707	1.5	[illegible]	2.0	2.5	2.0	5.5	3.5	3.0	3.5	8.5	5.5	14.0	3.0	4.5	2.0	4.8	*3.9*
7727	3.5	3.0	****	****	3.0	6.5	3.5	****	5.0	8.0	8.5	8.5	****	****	2.5	5.2	*2.5*
7708	4.5	4.5	****	****	3.5	7.0	5.0	****	4.5	9.0	8.5	8.5	****	****	3.5	5.9	*2.2*
7709	3.0	5.0	****	****	4.5	4.5	5.0	****	3.5	8.5	8.0	9.5	****	****	3.0	5.5	*2.4*
7710	4.0	5.0	3.0	3.5	2.5	4.0	3.5	4.5	4.0	7.5	6.5	8.0	4.0	3.5	3.0	4.8	*1.9*
7711	2.5	4.5	****	****	4.0	5.5	4.5	****	4.0	8.5	9.5	8.5	****	****	2.5	5.4	*2.6*
7803	****	1.4	2.5	2.5	2.5	****	3.6	5.0	5.0	****	****	****	3.9	4.3	2.5	3.3	*1.2*
7804	****	4.2	4.5	5.2	3.8	7.7	5.6	5.9	7.7	11.5	****	****	5.9	5.6	4.5	5.3	*1.1*
7805	****	4.6	5.0	5.4	4.6	****	6.1	7.7	6.5	****	****	****	5.7	7.7	5.0	5.8	*1.2*
7806	****	3.1	4.2	4.6	4.2	****	6.1	7.7	5.7	****	****	****	5.4	6.1	3.1	5.0	*1.5*
7807	****	2.7	2.7	3.1	2.3	6.5	4.2	6.1	4.6	9.6	****	****	3.4	4.2	2.3	3.6	*1.2*
7808	****	3.4	3.4	3.4	4.2	****	4.6	5.7	5.4	****	****	****	4.2	5.0	2.7	4.2	*1.0*
7809	****	3.1	3.1	3.4	3.4	5.4	3.4	6.1	4.6	9.2	****	****	5.4	3.4	2.3	3.8	*1.2*
7810	****	5.3	4.3	3.6	4.3	****	4.6	6.7	5.0	****	****	****	5.0	5.7	3.9	4.8	*0.9*
7811	****	5.0	3.6	5.3	3.9	6.7	4.6	5.3	4.6	9.9	****	****	4.6	6.4	3.9	4.7	*0.8*
7812	****	6.4	5.0	5.3	4.6	****	5.3	7.5	6.4	****	****	****	5.0	7.5	3.9	5.7	*1.2*
7904	****	3.9	3.6	3.9	4.6	****	5.3	7.5	7.5	****	****	****	5.3	5.7	3.2	5.1	*1.5*
8007	2.5	2.8	3.2	4.3	3.6	6.0	5.0	6.7	6.7	6.4	7.8	7.8	4.3	-	-	-	-
x̄ et s																	
1976	5.4 *1.1*	4.4 *3.6*	4.1 *1.7*	4.0 *1.4*	2.6 *0.8*	5.2 *0.8*	4.2 *0.5*	7.8 *4.5*	6.0 *2.2*	10.9 *0.7*	- -	- -	- -	- -	3.3 *1.0*		
1977	3.2 *1.3*	3.5 *1.4*	(3.5) *(1.7)*	(3.4) *(0.8)*	3.4 *0.8*	6.0 *1.8*	4.2 *0.8*	(4.7) *(1.8)*	4.2 *1.0*	9.4 *3.2*	8.4 *2.6*	10.8 *3.8*	4.1 *1.2*	-	2.6 *0.5*		
1978	- -	3.9 *1.5*	3.8 *0.9*	4.2 *1.1*	3.8 *0.8*	(6.6) *(0.9)*	4.8 *1.0*	6.4 *1.0*	5.6 *1.0*	(10.1) *(1.0)*	- -	- -	3.9 *0.8*	5.6 *1.4*	3.4 *1.0*		

Tableau 35.- Variations stationnelles et saisonnières des chlorures pour 1976-1977-1978:

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italiques)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	44.467	2	22.2336		
station	165.223	10	16.5223	6.51	0.02
ms	50.726	20	2.5363		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	143.05	8	17.8814		
station	693.69	9	77.0763	29.88	0.00
ms	185.75	72	2.5799		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	69.055	9	7.67277		
station	84.339	9	9.37099	23.13	0.00
ms	32.812	81	0.40509		

Tableau 36.- Analyse de la variance sur le tableau 35. Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles des chlorures.

3.3.10. Chlorures (ppm-Cl^-) (tableaux 35-37)

Le test de l'analyse de la variance est très significatif pour les trois années (tableau 36).

Les contrastes (figure 27) permettent de distinguer 3 classes de valeurs moyennes (tableau 37).

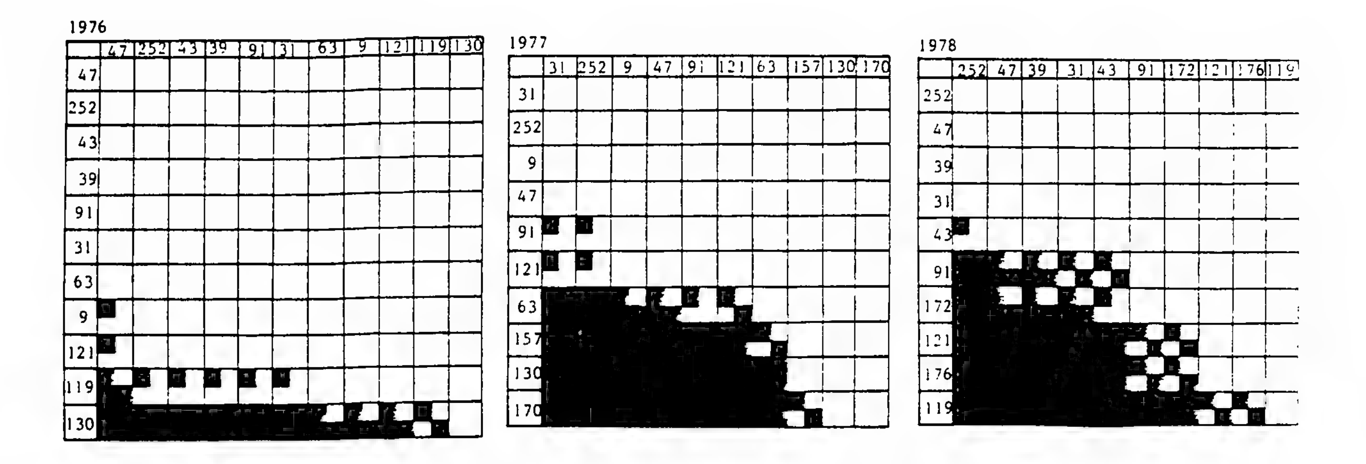
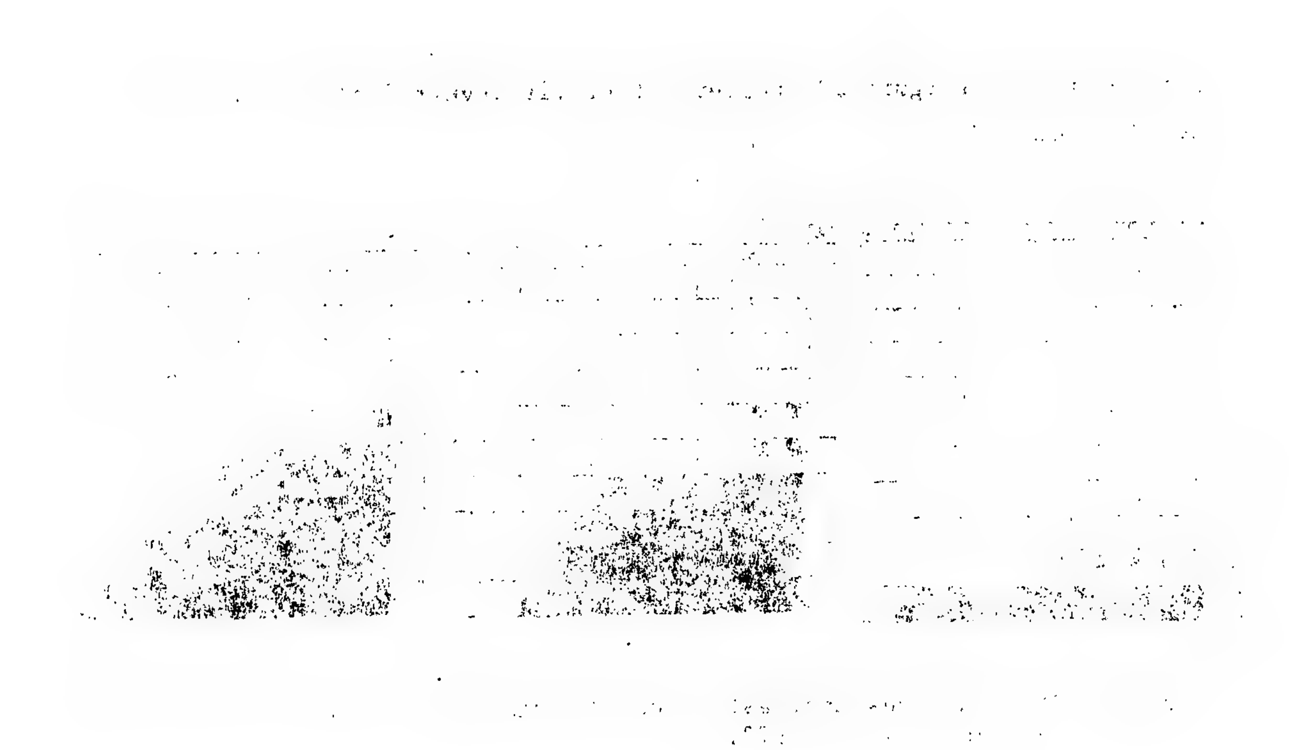
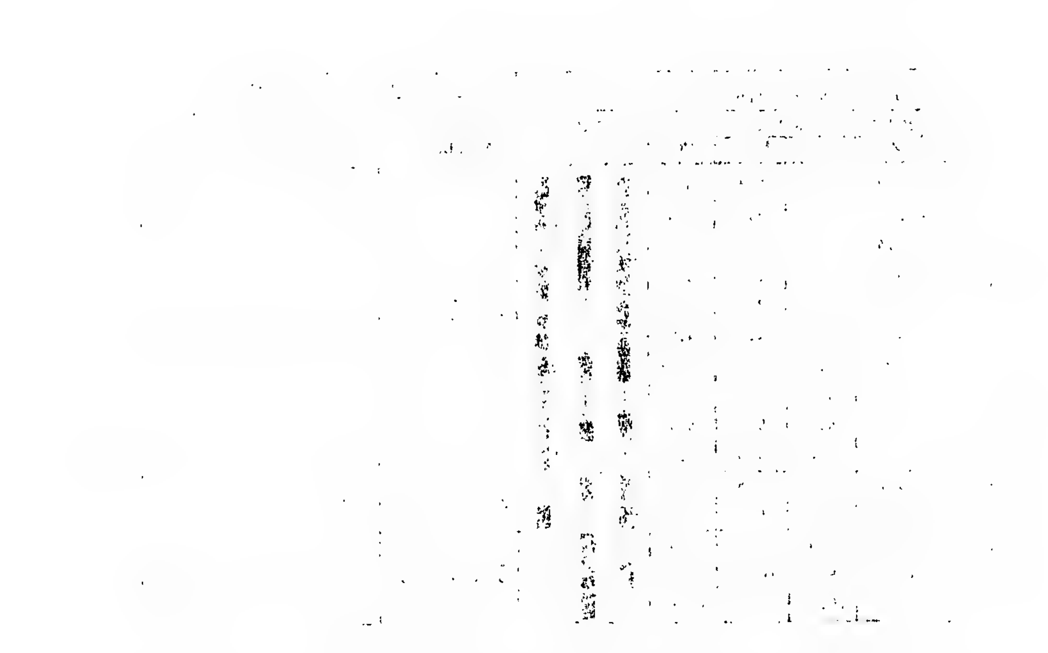


Figure 27.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes des chlorures en 1976, 1977 et 1978.

Paramètre : CHLORURES (ppm-Cl^-)						LIMITES DES CLASSES	
N° ST.	MOYENNES ANNUELLES 1976	1977	1978	MOYEN. GENER.	CONTRASTES 76 77 78	VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)
252	3.3	2.6	3.4	3.1			
47	2.6	3.4	3.8	3.4			
9	5.4	3.2	-	3.8			
31	4.4	3.5	3.9	3.8			
39	4.1	3.5	3.8	3.8		1 2.4- 5.6	(-) 1.4- 8.3(8.5)
43	4.0	3.4	4.2	4.0			
91	4.2	4.2	4.8	4.5			
172	-	4.1	4.9	4.7			
121	6.0	4.2	5.6	5.1			
176	-	3.0	5.6	5.2			
63	5.2	6.0	6.6	6.0		2 5.7- 7.8	(1.8) 2.8-10.1(13.0)
119	7.8	4.7	6.4	6.3			
157	-	8.4	-	8.4			
130	10.9	9.4	10.1	9.8		3 8.4-10.9	(-) 5.5-19.6(-)
170	-	10.8	-	10.8			

Tablau 37.- Répartition en classes des valeurs moyennes des chlorures sur base des contrastes pour les prélèvements de 1976, 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.





Aucune roche de la région étudiée ne peut donner naissance à des chlorures. Ceux-ci sont essentiellement d'origine exogène marine dans des conditions naturelles, par l'intermédiaire des précipitations (MEYBECK, 1983). Dans des zones d'habitat, d'élevage et de cultures s'ajoutent des sources continentales diverses (bétail, activités humaines, sels de déneigement, ...).

Par rapport aux teneurs en chlorures des eaux de pluie pendant la durée de ce travail (tableau 7), les teneurs des classes 1 et 2 peuvent être considérées comme normales. La classe 3 rassemble 3 stations dont la végétation semble légèrement altérée, en relation avec un bassin versant occupé par des pâtures. On peut dans ce cas expliquer les teneurs plus élevées par un apport exogène continental supplémentaire.

Pour ce paramètre, les variations interannuelles et les variations mensuelles sont faibles et irrégulières. Comme pour d'autres paramètres, les valeurs moyennes mensuelles, plus faibles en 1978 qu'en 1977, résultent d'un choix différent des stations.

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	0.3	0.7	0.6	0.8	1.1	1.6	1.4	0.4	0.8	1.7	****	****	****	****	0.6	0.9	*0.5*
7606	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	0.9	0.3	0.2	1.5	****	****	****	****	0.3	0.4	*0.5*
7610	0.0	0.5	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.6	1.0	****	****	****	0.0	0.4	*0.2*
7704	0.5	1.1	1.0	1.3	1.5	2.2	1.9	0.5	0.9	2.6	2.7	2.2	1.0	****	0.9	1.7	*0.8*
7705	0.1	0.4	****	****	0.9	0.9	1.2	****	0.5	1.1	1.8	1.2	****	****	0.5	0.9	*0.5*
7706	0.1	0.3	****	****	0.7	0.5	0.9	****	0.3	0.8	1.4	0.6	****	****	0.3	0.6	*0.4*
7707	0.0	0.6	0.4	0.5	0.9	1.0	1.2	0.4	0.4	1.0	1.7	0.5	0.6	0.7	0.0	0.7	*0.5*
7727	0.1	0.5	****	****	0.8	0.6	0.9	****	0.4	0.9	1.5	0.7	****	****	0.3	0.7	*0.4*
7708	0.3	0.6	****	****	1.0	0.9	1.7	****	0.5	1.2	1.9	1.1	****	****	0.4	1.0	*0.5*
7709	0.2	0.4	****	****	1.0	1.0	1.0	****	0.4	1.0	1.4	0.9	****	****	0.2	0.8	*0.4*
7710	0.1	0.4	0.4	0.4	0.9	0.9	1.1	0.5	0.4	0.7	1.7	0.5	0.5	0.7	0.3	0.7	*0.5*
7711	0.2	0.5	****	****	1.0	1.3	1.9	****	0.7	1.9	3.0	1.7	****	****	0.5	1.3	*0.9*
7803	****	0.9	0.9	1.1	1.5	****	1.8	0.6	1.2	****	****	****	1.0	1.5	1.0	1.2	*0.4*
7804	****	0.8	0.9	1.0	1.5	1.6	1.6	0.5	1.3	2.3	****	****	0.8	1.4	0.9	1.1	*0.4*
7805	****	0.3	0.5	0.6	0.8	****	1.4	0.2	0.5	****	****	****	0.3	1.0	0.7	0.6	*0.4*
7806	****	0.5	0.6	0.4	1.0	****	1.4	0.6	0.7	****	****	****	0.4	0.8	0.7	0.7	*0.3*
7807	****	0.5	0.4	0.4	0.8	0.7	0.9	0.6	0.4	0.9	****	****	0.3	0.6	0.4	0.5	*0.2*
7808	****	0.4	0.4	0.2	1.0	****	0.9	0.2	0.2	****	****	****	0.3	0.5	0.0	0.4	*0.3*
7809	****	0.6	0.5	0.5	1.2	1.1	0.9	0.5	0.6	1.0	****	****	0.6	0.7	0.3	0.6	*0.3*
7810	****	0.4	0.6	0.4	0.6	****	1.0	0.4	0.6	****	****	****	0.4	1.2	0.4	0.6	*0.3*
7811	****	0.4	0.4	0.6	1.0	1.3	1.8	0.4	0.5	1.6	****	****	0.6	1.1	0.5	0.7	*0.4*
7812	****	0.8	0.8	0.9	1.2	****	2.0	0.5	0.6	****	****	****	0.6	1.7	0.6	1.0	*1.0*
7904	****	0.6	0.9	1.0	1.4	****	1.8	0.4	1.2	****	****	****	0.6	1.8	1.0	1.1	*0.5*
8007	0.3	0.7	0.8	0.8	1.1	1.6	1.8	0.5	0.9	1.5	2.5	1.7	0.6	0.9	0.7	-	-
x̄ et s																	
1976	0.1	0.4	0.3	0.4	0.7	0.9	1.0	0.4	0.5	1.3	-	-	-	-	0.3		
	0.2	*0.4*	*0.3*	*0.4*	*0.4*	*0.6*	*0.4*	*0.1*	*0.3*	*0.6*	-	-	-	-	*0.3*		
1977	0.2	0.5	(0.6)	(0.7)	1.0	1.0	1.3	(0.5)	0.5	1.2	1.9	1.0	(0.7)	-	0.4		
	0.1	*0.2*	*(0.3)*	*(0.5)*	*0.2*	*0.5*	*0.4*	*(0.1)*	*0.2*	*0.6*	*0.6*	*0.6*	*(0.7)*	-	*0.2*		
1978	-	0.6	0.6	0.6	1.1	(1.2)	1.4	0.5	0.7	(1.5)	-	-	0.5	1.1	0.6		
	-	*0.2*	*0.2*	*0.3*	*0.3*	*(0.4)*	*0.4*	*0.2*	*0.3*	*0.6*	-	-	*0.2*	*0.4*	*0.3*		

Tableau 38.- Variations stationnelles et saisonnières des nitrates pour 1976-1977-1978:

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italique)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	1.9764	2	0.988182		
station	3.5697	10	0.356970	5.53	0.06
ms	1.2903	20	0.064515		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	9.4429	8	1.180361		
station	21.7684	9	2.418716	43.52	0.00
ms	4.0016	72	0.055577		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	5.2544	9	0.583822		
station	8.3484	9	0.927600	28.00	0.00
ms	2.6836	81	0.033131		

Tableau 39.- Analyse de la variance sur le tableau 38. Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles des nitrates.

3.3.11. Nitrates (ppm-N)

Tests statistiques sur l'effet station (tableaux 38-39)

Le test d'analyse de la variance est très significatif pour les trois années (tableau 39).

Les teneurs moyennes annuelles se répartissent en 3 classes (tableau 40). La classe 3 correspond à une seule station (157) située au milieu de pâtures.

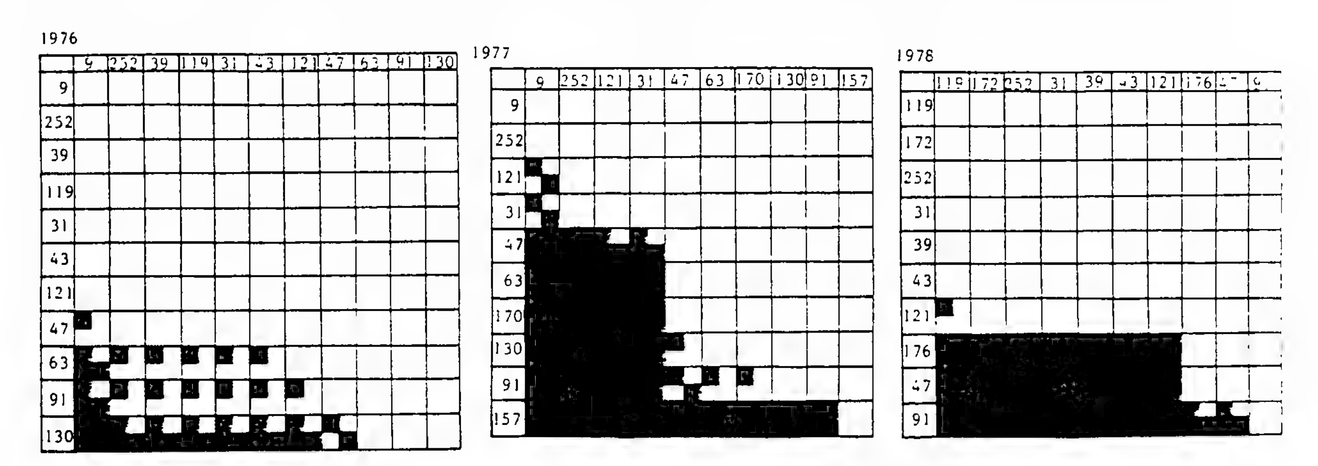


Figure 28.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes de nitrates en 1976, 1977 et 1978.

Paramètre : NITRATES (ppm-N)						LIMITES DES CLASSES	
N°ST.	MOYENNES ANNUELLES 1976	1977	1978	MOYEN. GENER.	CONTRASTES 76 77 78	VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)
9	0.1	0.2	-	0.2			
119	0.4	0.5	0.5	0.4			
252	0.3	0.4	0.6	0.4			
31	0.4	0.5	0.6	0.5		1 0.1- 0.7	(-) 0.0- 1.3(-)
39	0.3	0.6	0.6	0.6			
121	0.5	0.5	0.7	0.6			
172	-	0.7	0.5	0.6			
43	0.4	0.7	0.6	0.6			
47	0.7	1.0	1.1	1.0			
63	0.9	1.0	1.2	1.0			
170	-	1.0	-	1.0		2 0.8- 1.5	(-) 0.0- 2.6(-)
176	-	0.9	1.1	1.0			
91	1.0	1.3	1.4	1.3			
130	1.3	1.2	1.5	1.3			
157	-	1.9	-	1.9		3 1.9	(-) 1.0- 3.8(-)

Tableau 40.- Répartition en classes des valeurs moyennes des nitrates sur base des contrastes pour les prélèvements de 1976, 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.





Les valeurs observées aux autres stations sont très faibles, le plus souvent inférieures à 1 ppm-N, surtout dans les eaux acides.

Variations interannuelles et saisonnières

Les variations saisonnières sont bien nettes et identiques pendant les 3 années de prospection. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées de novembre à avril et une diminution très nette est visible au printemps et en été (figure 29).

Cette diminution correspond à la reprise de la végétation et dépend donc essentiellement d'une augmentation de la température.

La figure 29 montre clairement que les teneurs en nitrates commencent à diminuer pour une température moyenne mensuelle supérieure à 8 °C, soit à partir du mois de mai et qu'elles recommencent à augmenter quand cette température descend en dessous de 8°C, c'est-à-dire à partir du mois de novembre.

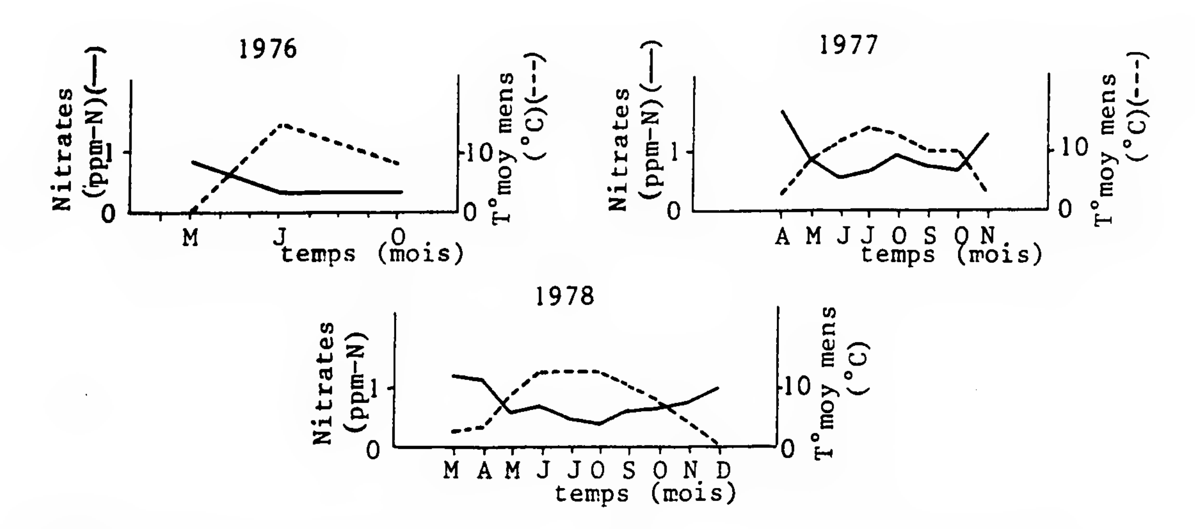


Figure 29.- Evolution des teneurs moyennes mensuelles en nitrates et comparaison avec la température moyenne annuelle de l'air pour les 3 années de prospection.

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	3.1	2.2	2.1	2.4	1.9	4.0	2.7	3.1	2.5	3.9	****	****	****	****	2.2	2.7	[illegible]
7606	3.2	2.0	2.3	2.4	2.2	3.9	2.7	3.1	2.2	4.6	****	****	****	****	2.1	2.8	*0.8*
7610	3.3	3.4	3.0	2.8	2.8	5.6	3.0	4.8	2.6	5.9	3.6	****	****	****	2.8	3.6	*1.2*
7704	2.7	2.7	2.0	3.1	1.7	4.0	2.4	3.3	2.3	4.7	4.7	5.3	2.4	****	1.6	3.2	*1.3*
7705	2.5	1.5	****	****	1.9	3.5	2.2	****	1.9	3.8	3.9	4.3	****	****	1.1	2.7	*1.1*
7706	2.2	1.1	****	****	1.5	3.3	1.8	****	2.2	3.7	3.3	4.2	****	****	1.4	2.5	*1.1*
7707	2.1	1.0	1.5	1.6	1.5	4.3	3.3	2.9	2.2	4.5	3.2	4.3	2.2	2.4	1.8	2.8	*1.3*
7727	1.5	0.7	****	****	1.5	3.1	1.8	****	1.6	3.4	3.2	3.4	****	****	0.8	2.1	*1.1*
7708	2.6	1.5	****	****	1.6	3.4	2.5	****	1.8	3.8	3.7	3.4	****	****	1.1	2.5	*1.0*
7709	2.4	2.6	****	****	3.0	5.1	2.8	****	2.4	4.8	4.2	5.1	****	****	2.0	3.4	*1.2*
7710	2.6	2.9	2.2	2.7	2.3	4.8	2.8	3.2	2.4	4.8	3.9	5.0	3.1	2.9	2.1	3.4	*1.2*
7711	2.8	2.7	****	****	2.5	4.1	2.8	****	2.9	4.4	5.2	4.5	****	****	2.1	3.4	*1.0*
7803	****	2.4	2.4	2.6	2.4	****	3.1	3.7	3.1	****	****	****	3.0	3.0	2.4	2.8	*0.4*
7804	****	2.3	2.3	2.4	2.2	4.0	2.8	3.4	3.0	5.0	****	****	2.9	2.7	1.9	2.6	*0.4*
7805	****	2.1	1.8	2.0	2.0	****	2.5	3.0	2.6	****	****	****	2.5	2.6	1.6	2.3	*0.4*
7806	****	1.7	1.6	2.0	2.0	****	2.6	2.9	2.2	****	****	****	2.7	2.5	1.5	2.2	*0.5*
7807	****	1.3	1.7	2.0	1.4	4.6	2.6	3.5	2.5	4.8	****	****	2.7	2.7	1.5	2.2	*0.7*
7808	****	2.0	2.4	2.4	2.4	****	2.7	3.3	2.7	****	****	****	3.2	2.6	1.9	2.6	*0.5*
7809	****	2.1	2.1	2.4	2.9	4.6	2.8	3.6	2.6	5.0	****	****	3.2	2.7	1.4	2.6	*0.6*
7810	****	2.6	2.4	2.1	2.2	****	2.7	3.5	2.4	****	****	****	3.2	2.9	1.7	2.6	*0.5*
7811	****	2.4	2.1	2.4	2.1	5.1	2.7	3.2	2.3	4.5	****	****	2.9	2.9	2.1	2.5	*0.4*
7812	****	3.1	2.1	2.3	2.2	****	2.4	3.8	2.6	****	****	****	2.7	3.2	1.9	2.6	*0.6*
7904	****	2.2	1.7	1.6	1.7	****	2.3	3.1	2.5	****	****	****	2.3	2.1	1.3	2.1	*0.5*
8007	1.8	2.0	2.0	2.2	2.1	2.7	2.5	4.5	4.3	4.3	5.0	4.5	2.7	2.4	1.8	-	-
x̄ et s																	
1976	3.2	2.5	2.5	2.5	2.3	4.5	2.8	3.7	2.4	4.8	-	-	-	-	2.4		
	0.1	*0.8*	*0.5*	*0.2*	*0.5*	*1.0*	*0.2*	*1.0*	*0.2*	*1.0*	-	-	-	-	*0.4*		
1977	2.4	1.8	(1.9)	(2.5)	1.9	4.0	2.5	(3.1)	2.2	4.2	3.9	4.4	(2.6)	-	1.6		
	0.4	*0.8*	*(0.4)*	*(0.8)*	*0.5*	*0.7*	*0.5*	*(0.2)*	*0.4*	*0.5*	*0.7*	*0.7*	*0.5*	-	*0.5*		
1978	-	2.2	2.1	2.3	2.2	(4.6)	2.7	3.4	2.6	(4.8)	-	-	2.9	2.8	1.8		
	-	*0.5*	*0.3*	*0.2*	*0.3*	*(0.5)*	*0.2*	*0.3*	*0.3*	*(0.2)*	-	-	*0.2*	*0.2*	*0.3*		

Tableau 41.- Variations stationnelles et saisonnières du sodium pour 1976-1977-1978:

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italique)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	5.6018	2	2.80091		
station	23.7418	10	2.37418	17.09	0.00
ms	2.7782	20	0.13891		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	18.5736	8	2.32169		
station	97.8810	9	10.87567	82.41	0.00
ms	9.5020	72	0.13197		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	3.6501	9	0.405567		
station	19.6881	9	2.187567	42.52	0.00
ms	4.1669	81	0.051443		

Tableau 42.- Analyse de la variance sur le tableau 41 . Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles du sodium.

3.3.12. Sodium (ppm-Na^+) (tableaux 41-43)

Le test d'analyse de la variance est très significatif pour les trois années et les contrastes (figure 30) permettent de répartir les valeurs moyennes en 3 classes (tableau 43).

Dans la classe 3, on retrouve les stations 157, 170 et 130 déjà citées dans les classes de valeurs plus élevées en chlorures et en nitrates. Comme pour les chlorures, le sodium de ces eaux provient essentiellement des précipitations (MEYBECK, 1983).

Les variations saisonnières et interannuelles sont très faibles et irrégulières.

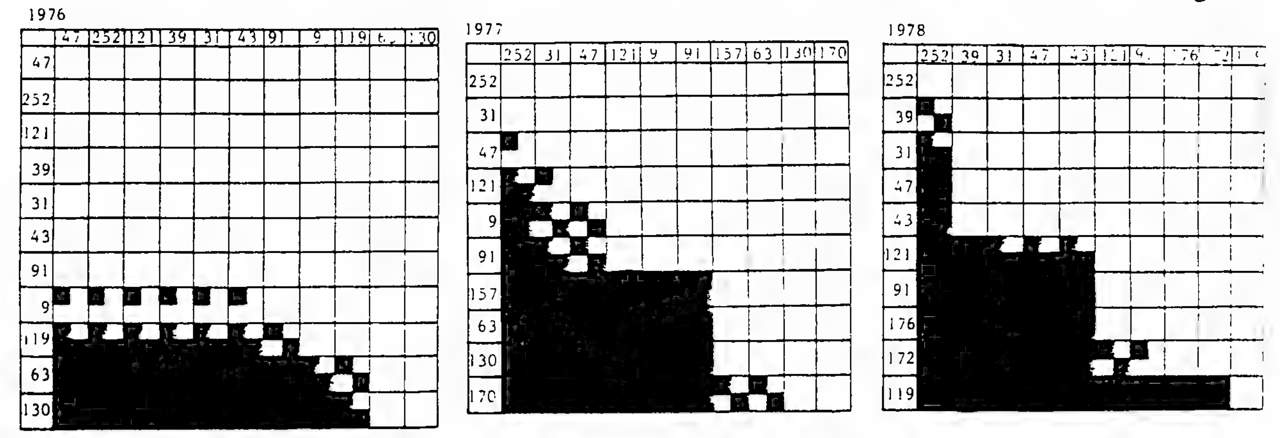


Figure 30.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes du sodium en 1976, 1977 et 1978.

Paramètre : SODIUM (ppm Na^+)						LIMITES DES CLASSES	
N°ST.	MOYENNES ANNUELLES 1976	1977	1978	MOYEN. GENER.	CONTRASTES 76 77 78	VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)
252	2.4	1.6	1.8	1.8			
31	2.5	1.8	2.2	2.1			
47	2.3	1.9	2.2	2.1			
39	2.5	1.9	2.1	2.1			
43	2.5	2.5	2.3	2.4			
121	2.4	2.2	2.6	2.4		1 1.6- 3.0	(-) 0.7- 3.3(4.2)
91	2.8	2.5	2.7	2.6			
9	3.2	2.4	-	2.6			
176	-	2.6	2.8	2.7			
172	-	2.6	2.9	2.8			
119	3.7	3.1	3.4	3.4		2 3.1- 3.7	(-) 2.5- 3.8(4.8)
157	-	3.9	-	3.9			
63	4.5	4.0	4.6	4.2		3 3.8- 6.4	(-) 2.6- 6.1(10.6)
170	-	4.4	-	4.4			
130	4.8	4.2	4.8	4.5			

Tableau 43.- Répartition en classes des valeurs moyennes du sodium sur base des contrastes pour les prélèvements de 1976, 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	292	x̄	s
7603	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.5	0.1	0.0	1.5	****	****	****	****	0.0	0.3	*0.5*
7606	0.7	0.4	0.4	0.4	0.2	0.8	1.3	0.2	0.2	1.7	****	****	****	****	0.4	0.6	*0.5*
7610	0.6	0.7	0.8	0.7	0.5	0.9	1.0	1.0	1.1	1.7	1.1	****	****	****	0.6	0.9	*0.3*
7704	0.5	0.2	0.3	0.3	0.2	0.6	0.7	0.5	0.3	1.3	1.2	1.2	0.3	****	0.2	0.8	*0.4*
7705	0.1	0.0	****	****	0.1	0.3	0.4	****	0.0	0.8	0.8	1.0	****	****	0.0	0.4	*0.4*
7706	0.0	0.1	****	****	0.2	0.6	0.4	****	0.0	0.8	1.2	1.0	****	****	0.0	0.4	*0.4*
7707	0.1	0.4	0.1	0.0	0.1	0.4	1.2	0.3	0.0	1.1	0.7	0.6	0.6	0.3	0.1	0.5	*0.4*
7727	0.1	0.0	****	****	0.2	0.5	0.7	****	0.4	1.3	2.0	0.8	****	****	0.1	0.6	*0.6*
7708	0.4	0.0	****	****	0.2	0.5	0.7	****	0.1	1.3	1.1	1.0	****	****	0.0	0.5	*0.5*
7709	0.1	0.3	****	****	0.8	0.9	0.9	****	0.2	1.7	1.7	1.2	****	****	0.1	0.8	*0.6*
7710	0.1	0.3	0.4	0.5	0.2	0.6	0.7	0.2	0.3	1.7	1.1	1.4	0.4	0.6	0.1	0.7	*0.6*
7711	0.7	0.5	****	****	0.6	0.8	0.9	****	0.4	2.1	1.9	1.4	****	****	0.3	1.0	*0.6*
7803	****	0.5	0.7	0.4	0.5	****	0.8	0.8	0.4	****	****	****	0.5	0.7	0.5	0.6	*0.2*
7804	****	0.3	0.4	0.3	0.5	0.7	0.7	0.3	0.4	1.6	****	****	0.5	0.5	0.3	0.4	*0.1*
7805	****	0.3	0.6	0.4	0.4	****	0.8	0.3	0.3	****	****	****	0.4	0.5	0.5	0.5	*0.2*
7806	****	0.1	0.3	0.3	0.3	****	0.7	0.2	0.2	****	****	****	0.2	0.4	0.2	0.3	*0.2*
7807	****	0.0	0.2	0.2	0.3	0.6	0.7	0.3	0.3	2.3	****	****	0.2	0.9	0.1	0.3	*0.3*
7808	****	0.2	0.5	0.2	0.6	****	0.8	0.2	0.3	****	****	****	0.6	0.4	0.3	0.4	*0.2*
7809	****	0.0	0.3	0.2	0.5	0.5	0.9	0.3	0.2	1.4	****	****	1.0	0.7	0.1	0.4	*0.3*
7810	****	0.6	0.9	0.5	0.8	****	1.4	0.9	0.7	****	****	****	1.0	2.0	0.6	0.9	*0.5*
7811	****	0.5	0.5	0.3	0.4	0.6	1.0	0.3	0.3	1.6	****	****	0.4	0.6	0.3	0.5	*0.2*
7812	****	0.9	0.5	0.3	0.6	****	1.1	0.8	0.4	****	****	****	0.6	1.1	0.6	0.7	*0.3*
7904	****	0.3	0.4	0.4	0.5	****	0.8	0.3	0.2	****	****	****	0.4	0.6	0.4	0.4	*0.2*
8007	0.1	0.2	0.3	0.4	0.3	1.0	0.9	0.9	0.7	1.9	1.8	1.5	0.5	0.7	0.2	-	-
x̄ et s																	
1976	0.5	0.4	0.4	0.4	0.2	0.8	0.9	0.4	0.4	1.6	-	-	-	-	0.3		
	0.2	*0.4*	*0.4*	*0.4*	*0.3*	*0.1*	*0.4*	*0.5*	*0.6*	*0.1*	-	-	-	-	*0.3*		
1977	0.2	0.2	(0.3)	(0.3)	0.3	0.6	0.7	(0.3)	0.2	1.3	1.3	1.1	(0.4)	-	0.1		
	0.2	*0.2*	*(0.2)*	*(0.3)*	*0.2*	*0.2*	*0.7*	*(0.2)*	*0.2*	*0.4*	*0.5*	*0.3*	*(0.2)*	-	*0.1*		
1978	-	0.3	0.5	0.3	0.5	(0.6)	0.9	0.4	0.4	(1.7)	-	-	0.5	0.8	0.4		
	-	*0.3*	*0.2*	*0.1*	*0.2*	*(0.1)*	*0.2*	*0.3*	*0.1*	*(0.4)*	-	-	*0.3*	*0.5*	*0.2*		

Tableau 44.- Variations stationnelles et saisonnières du potassium pour 1976-1977-1978:

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts-types (en italiques)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	1.92788	2	0.963939		
station	4.89515	10	0.489515	11.77	0.00
ms	0.83212	20	0.041605		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	2.8300	8	0.353750		
station	18.8134	9	2.090383	46.66	0.00
ms	3.2256	72	0.044799		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	3.3929	9	0.376989		
station	3.4249	9	0.380544	12.37	0.00
ms	2.4921	81	0.030767		

Tableau 45.- Analyse de la variance sur le tableau 44 . Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles du potassium.

3.3.13. Potassium (ppm-K^+) (tableaux 44-46)

Le test d'analyse de la variance est très significatif pour les trois années (tableau 45).

Deux classes ont été retenues (tableau 46). La première rassemble des rivières coulant sur des substrats différents, la deuxième : les stations 130 157 et 170 coulant dans des pâtures. Les teneurs sont toujours faibles et une légère diminution estivale ressort des résultats moyens mensuels de 1977 et 1978 (tableau 44).

Les variations interannuelles sont très faibles.

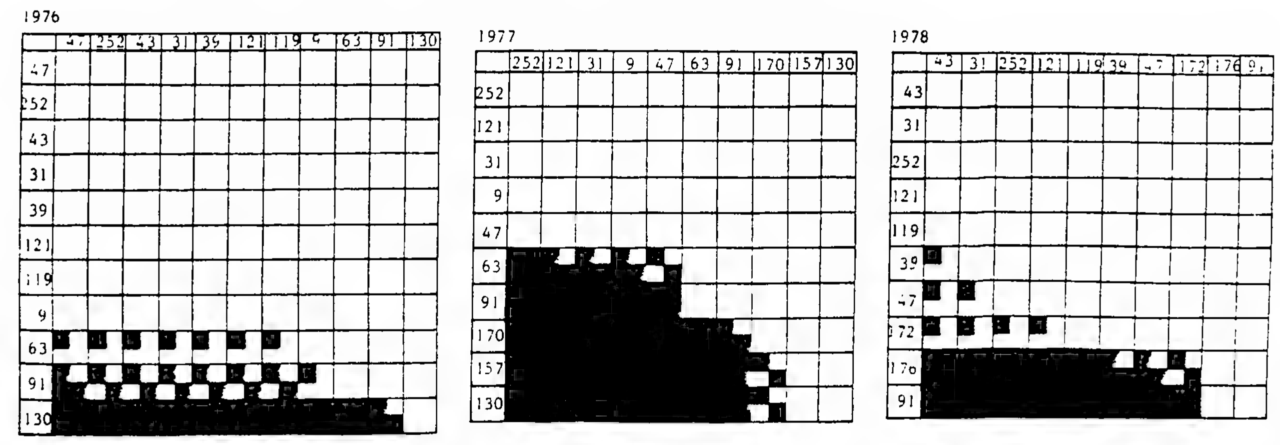


Figure 31.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes du potassium en 1976, 1977 et 1978.

Paramètre : POTASSIUM (ppm K^+)						LIMITES DES CLASSES	
N°ST.	MOYENNES ANNUELLES 1976	1977	1978	MOYEN. GENER.	CONTRASTES 76 77 78	VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)
252	0.3	0.1	0.4	0.2			
31	0.4	0.2	0.3	0.3			
121	0.4	0.2	0.4	0.3			
9	0.5	0.2	-	0.3			
43	0.4	0.3	0.3	0.3			
47	0.2	0.3	0.5	0.4		1 0.1- 1.0	(-) 0.0- 1.4(2.0)
119	0.4	0.3	0.4	0.4			
39	0.4	0.3	0.5	0.4			
172	-	0.4	0.5	0.5			
63	0.8	0.6	0.6	0.6			
176	-	0.3	0.8	0.7			
91	0.9	0.7	0.9	0.8			
170	-	1.1	-	1.1			
157	-	1.3	-	1.3		2 1.1- 1.8	(-) 0.6- 2.3(-)
130	1.6	1.3	1.7	1.5			

Tableau 46.- Répartition en classes des valeurs moyennes du potassium sur base des contrastes pour les prélèvements de 1976, 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.

	9	31	39	43	47	53	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	-	-	-
7606	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	-	-	-
7610	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	-	-	-
7704	2.1	1.2	1.5	2.1	1.7	2.9	2.3	2.5	2.5	2.5	2.8	2.4	2.0	****	1.6	2.2	*0.5*
7705	2.0	0.9	****	****	1.8	2.9	2.4	****	2.6	2.4	3.0	2.6	****	****	1.2	2.2	*0.7*
7706	1.6	0.8	****	****	2.0	3.1	2.5	****	2.9	2.7	3.5	2.9	****	****	1.4	2.3	*0.9*
7707	1.6	0.8	1.1	1.7	2.0	3.7	2.5	3.0	2.8	3.0	3.2	3.1	2.1	2.3	1.4	2.4	*0.9*
7727	1.3	1.0	****	****	2.1	2.8	2.6	****	2.8	2.4	3.4	2.7	****	****	0.7	2.2	*0.9*
7708	1.5	1.4	****	****	2.4	3.3	2.9	****	2.9	2.5	3.1	3.4	****	****	1.2	2.5	*0.8*
7709	1.9	1.8	****	****	2.3	4.0	2.9	****	2.9	3.2	3.3	3.0	****	****	1.8	2.7	*0.7*
7710	2.1	1.9	1.5	2.3	2.4	4.2	2.9	3.3	2.9	3.2	3.4	3.2	2.6	2.5	1.7	2.8	*0.8*
7711	2.3	1.8	****	****	2.2	3.0	2.6	****	3.0	2.5	3.3	2.5	****	****	1.5	2.5	*0.6*
7803	****	1.9	1.7	2.1	2.0	****	2.4	2.9	2.7	****	****	****	2.2	2.5	1.6	2.2	*0.4*
7804	****	1.4	1.4	2.1	1.7	2.8	2.5	2.9	2.8	2.3	****	****	2.2	2.5	1.5	2.1	*0.6*
7805	****	1.0	1.3	2.0	1.6	****	2.4	2.7	2.6	****	****	****	2.0	2.4	1.4	1.9	*0.6*
7606	****	1.3	1.0	2.0	2.1	****	2.5	3.0	2.8	****	****	****	2.3	2.3	1.0	2.0	*0.7*
7807	****	1.3	1.1	1.8	2.1	3.7	2.8	3.3	2.9	3.1	****	****	2.3	2.4	0.8	2.1	*0.8*
7808	****	1.6	1.5	2.1	2.2	****	2.8	3.2	2.8	****	****	****	2.4	2.3	1.7	2.3	*0.6*
7809	****	1.9	1.7	2.3	2.5	4.5	3.0	3.4	3.1	3.2	****	****	2.1	2.8	1.5	2.4	*0.8*
7810	****	1.7	1.8	2.0	2.0	****	2.7	3.3	2.7	****	****	****	2.5	2.7	1.5	2.3	*0.6*
7811	****	2.0	1.6	2.2	2.2	3.4	2.5	3.2	2.6	2.3	****	****	2.5	3.5	1.5	2.4	*0.6*
7812	****	2.1	1.8	2.4	2.2	****	2.6	3.3	2.9	****	****	****	2.6	3.1	1.5	2.5	*0.6*
7904	****	1.0	1.3	1.9	1.5	****	2.2	2.5	2.4	****	****	****	1.9	2.2	1.3	0.5	*0.5*
8007	1.0	1.5	1.3	1.8	1.6	2.7	2.4	2.7	2.4	2.0	3.1	2.2	2.0	2.2	1.2	-	-
x̄ et s																	
1977	1.8 *0.3*	1.3 *0.6*	(1.4) *(0.2)*	(2.0) *(0.3)*	2.1 *0.3*	3.3 *0.5*	2.6 *2.6*	(2.9) *(0.4)*	2.8 *0.2*	2.7 *0.3*	3.2 *0.2*	2.9 *0.2*	(2.2) *(0.3)*	- -	1.4 *0.3*		
1978	- -	1.6 *0.4*	1.5 *0.3*	2.1 *0.2*	2.1 *0.3*	(3.6) *(0.7)*	2.6 *0.2*	3.1 *0.2*	2.8 *0.2*	(2.7) *(0.5)*	- -	- -	2.3 *0.2*	2.7 *0.4*	1.4 *0.3*		

Tableau 47.- Variations stationnelles et saisonnières de la silice pour 1977-1978:

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italiques)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	3.9942	8	0.499278		
station	42.4601	9	4.717790	68.25	0.00
ms	4.9769	72	0.069123		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	2.7784	9	0.308711		
station	30.9304	9	3.436711	81.26	0.00
ms	3.4256	81	0.042291		

Tableau 48.- Analyse de la variance sur le tableau 47. Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles de la silice.

3.3.14. Silice (ppm-Si) (tableaux 47-49).

Ce paramètre n'a pas été mesuré en 1976.

Le test d'analyse de la variance est très significatif en 1977 et 1978. D'après les contrastes, nous avons distingué 4 classes (tableau 49).

Figure 32.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes de la silice en 1977 et 1978.

Paramètre : SILICE (ppm Si)								LIMITES DES CLASSES	
N°ST.	MOYENNES ANNUELLES			MOYEN.	CONTRASTES			VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)
	1976	1977	1978	GENER.	76	77	78		
252	-	1.4	1.4	1.4	-			1 1.3- 1.6	(-) 0.5- 2.1(✱)
39	-	1.4	1.5	1.5	-				
31	-	1.3	1.6	1.5	-				
9	-	1.8	-	1.8	-			2 1.7- 2.3	(1.0) 1.3- 2.6(✱)
47	-	2.1	2.1	2.1	-				
43	-	2.0	2.1	2.1	-				
172	-	2.2	2.3	2.3	-				
176	-	2.3	2.7	2.6	-			3 2.6- 3.0	(2.0) 2.2- 3.5(✱)
91	-	2.6	2.6	2.6	-				
130	-	2.7	2.7	2.7	-				
121	-	2.8	2.8	2.8	-				
170	-	2.9	-	2.9	-				
119	-	2.9	3.1	3.1	-			4 3.1- 3.6	(-) 2.5- 4.5(✱)
157	-	3.2	-	3.2	-				
63	-	3.3	3.6	3.4	-				

Tableau 49.- Répartition en classes des valeurs moyennes de la silice sur base des contrastes pour les prélèvements de 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes. (✱= pas de valeur en octobre 1976).

Les deux premières classes groupent des eaux très peu minéralisées, acides (stations 252, 39, 9, 43) ou neutres à légèrement acides (stations 31, 47, 172). Les stations 176, 130 et 170, en contact avec des massifs de silex, se trouvent dans la classe 3.

Ce paramètre est essentiel dans l'étude des variations saisonnières dans les milieux lacustres où il devient limitant pour la multiplication des diatomées à certaines périodes de l'année. Comme on pouvait s'y attendre, il s'avère qu'en eau courante, les variations saisonnières sont très faibles, même en juin-juillet quand la productivité est maximale (chapitre 5.3.6.1.).

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	1.5	1.2	1.5	0.4	0.0	0.8	0.4	0.0	0.0	0.4	****	****	****	****	1.9	0.7	*0.7*
7606	2.7	6.2	1.9	1.2	1.5	8.5	1.5	1.2	0.8	2.3	****	****	****	****	0.0	2.5	*2.5*
7610	0.7	9.6	3.7	2.6	0.[illegible]	2.2	0.7	17.1	6.7	0.4	0.1	****	****	****	0.4	4.0	*5.3*
7704	1.9	6.1	5.0	6.5	3.4	2.3	3.0	3.0	3.0	3.4	3.0	2.3	3.4	****	5.7	3.4	*1.4*
7705	1.9	0.8	****	****	2.3	1.1	0.8	****	1.1	1.1	1.9	0.8	****	****	8.0	2.8	*3.0*
7706	2.7	11.8	****	****	1.5	0.4	1.5	****	3.0	1.5	2.7	0.4	****	****	2.7	2.8	*3.3*
7707	2.2	26.4	9.6	9.3	6.5	0.3	3.1	0.3	3.7	3.4	8.4	2.2	5.3	9.3	1.6	5.8	*7.6*
7727	3.0	12.9	****	****	0.0	1.5	8.4	****	6.5	6.1	4.6	2.3	****	****	11.8	5.7	*4.3*
7708	3.0	12.2	****	****	2.7	1.1	0.8	****	1.5	1.1	1.5	0.0	****	****	4.2	2.8	*3.5*
7709	1.9	5.4	****	****	1.3	0.0	1.0	****	0.3	1.3	2.2	0.0	****	****	2.2	1.6	*1.6*
7710	0.4	10.6	6.4	9.8	2.6	0.0	0.4	5.3	4.9	1.5	5.3	0.0	6.0	1.5	3.8	3.0	*3.4*
7711	3.4	6.0	****	****	1.9	0.4	0.4	****	1.9	1.1	0.8	0.0	****	****	6.4	2.2	*2.3*
7803	****	4.9	1.5	0.8	1.1	****	1.9	0.0	0.0	****	****	****	2.3	1.5	2.3	1.6	*1.4*
7804	****	4.2	4.9	1.1	1.9	6.8	2.6	2.6	0.0	3.4	****	****	0.4	4.2	5.3	2.7	*1.9*
7805	****	7.9	5.3	4.5	0.8	****	0.0	0.0	1.5	****	****	****	3.0	1.9	6.4	3.1	*2.8*
7806	****	17.1	6.4	9.1	0.4	****	0.0	1.5	0.8	****	****	****	1.1	1.5	8.7	4.7	*5.6*
7807	****	13.9	12.7	12.7	8.9	0.0	0.8	0.8	0.8	3.0	****	****	10.4	6.2	13.9	8.1	*5.6*
7808	****	14.3	10.0	4.6	3.5	****	1.2	2.3	1.9	****	****	****	4.2	3.1	3.5	4.9	*4.1*
7809	****	6.9	6.2	5.4	0.4	0.4	0.8	1.9	0.8	1.9	****	****	8.1	3.5	4.6	3.9	*2.8*
7810	****	6.9	6.9	4.6	3.1	****	2.7	1.9	1.2	****	****	****	2.7	6.2	7.3	4.4	*2.3*
7811	****	4.2	3.9	3.5	0.8	0.0	0.0	3.5	2.3	13.1	****	****	0.8	8.5	3.9	3.1	*2.4*
7812	****	4.6	4.6	4.6	1.5	****	0.8	1.2	1.2	****	****	****	1.5	3.5	5.8	2.9	*1.9*
7904	****	7.3	4.2	4.2	1.5	****	1.5	1.9	3.9	****	****	****	3.1	4.6	6.6	3.9	*2.0*
8007	0.0	2.7	6.2	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	4.2	0.0	-	-
x̄ et s																	
1976	1.6 *1.0*	5.7 *4.2*	2.4 *1.2*	1.4 *1.1*	0.6 *0.8*	3.8 *4.1*	0.9 *0.6*	6.1 *9.5*	2.5 *3.7*	1.0 *1.1*	- -	- -	- -	- -	0.8 *1.0*		
1977	2.3 *0.9*	11.1 *6.4*	(7.0) *(2.4)*	(8.5) *(1.8)*	2.5 *1.8*	0.8 *0.8*	2.2 *2.6*	(2.9) *(2.5)*	2.9 *2.0*	2.3 *1.7*	3.4 *2.4*	0.9 *1.1*	(4.9) *(1.3)*	- -	5.2 *3.2*		
1978	- -	8.5 *4.8*	6.2 *3.2*	5.1 *3.5*	2.3 *2.5*	(1.8) *(3.3)*	1.1 *1.0*	1.6 *1.1*	1.1 *0.7*	(5.4) *(5.2)*	- -	- -	3.5 *3.3*	4.0 *2.3*	6.2 *3.3*		

Tableau 50.- Variations stationnelles et saisonnières de l'oxydabilité pour 1976-1977-1978:

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italiques)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	72.733	2	36.366		
station	105.928	10	10.593	0.94	51.89
ms	225.141	20	11.257		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB.%
mois	169.93	8	21.2411		
station	730.89	9	81.2094	13.30	0.00
ms	439.62	72	6.1058		

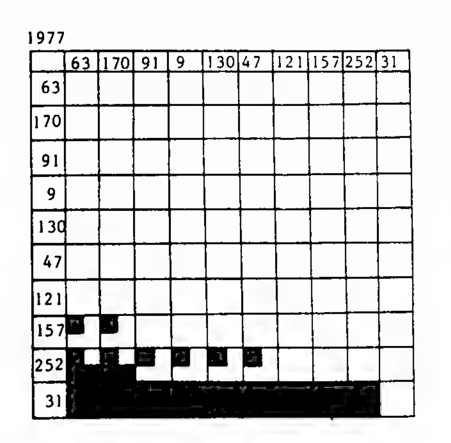
1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	281.28	9	31.2533		
station	574.37	9	63.8189	11.34	0.00
ms	455.99	81	5.6296		

Tableau 51.- Analyse de la variance sur le tableau 50 . Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles de l'oxydabilité.

3.3.15. Oxydabilité ($ppm-O_2$) (tableaux 50-52)

Le test d'analyse de la variance n'est pas significatif en 1976, et est très significatif en 1977 et 1978. Les contrastes pour 1977 isolent deux stations (252 et 31) et ceux de 1978 distinguent des autres les stations 31, 39, 43 et 252. En fait, les valeurs instantanées sont très variables et les



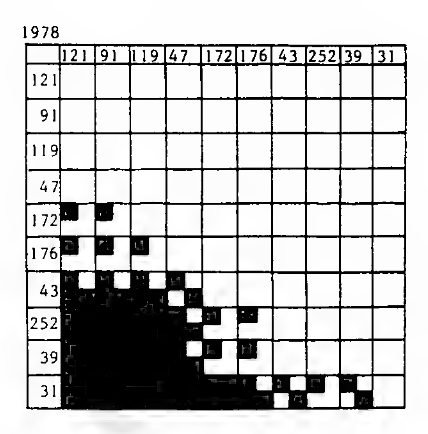


Figure 33.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes de l'oxydabilité en 1977 et 1978.

Paramètre : OXYDABILITE (ppm O_2)						LIMITES DES CLASSES	
N°ST.	MOYENNES ANNUELLES			MOYEN.	CONTRASTES	VALEURS MOYENNES ANNUELLES	MESURES EXTREMES (en crue) conditions normales (en étiage)
	1976	1977	1978	GENER.	76 77 78		
170	-	0.9	-	0.9	NON SIGNIFICATIF	1 0.6- 7.0	(-) 0.0-13.9(17.1)
91	0.9	2.2	1.1	1.5			
63	3.8	0.8	1.8	1.6			
121	2.5	2.9	1.1	2.0			
9	1.6	2.3	-	2.1			
47	0.6	2.5	2.3	2.1			
119	6.1	2.9	1.6	2.7			
130	1.0	2.3	5.4	2.8			
157	-	3.4	-	3.4			
172	-	4.9	3.5	3.8			
176	-	4.5	4.0	4.1			
252	0.8	5.2	6.2	5.0			
43	1.4	8.5	5.1	5.0			
39	2.4	7.0	6.2	5.7			
31	5.7	11.1	8.5	9.2		2 5.7-11.1	(-) 1.2-26.4(-)

Tableau 52.- Répartition en classes des valeurs moyennes de l'oxydabilité sur base des contrastes pour les prélèvements de 1976, 1977 et 1978. Stations classées par ordre croissant des valeurs moyennes générales. Limites des classes en valeurs moyennes annuelles et en mesures extrêmes, en conditions climatiques normales et exceptionnelles (entre parenthèses). Les barres noires verticales correspondent aux groupes de stations affines déterminés par les contrastes.

moyennes annuelles peuvent être très différentes pour une même station. La variation saisonnière va dans le sens d'une augmentation pendant l'été, plus particulièrement en juillet, c'est-à-dire pendant le mois le plus chaud.

L'estimation de l'oxydabilité est le plus souvent utilisée pour l'étude de pollutions organiques. Dans notre cas, il s'avère que ce paramètre constitue une mesure indirecte des acides humiques qui colorent les eaux acides en brun, surtout pendant l'été quand les débits sont faibles. Il est intéressant de remarquer en outre que l'augmentation des valeurs estivales correspond à une augmentation des teneurs en fer, élément qui, au même titre que d'autres, peut former certains complexes avec les acides humiques (PAGENKOPF, 1978). Dans nos eaux naturelles, les valeurs obtenues pour ce paramètre résultent donc essentiellement de l'oxydation de substances organiques naturelles et du fer.

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252	x̄	s
7603	88.0	46.0	65.0	67.0	39.0	83.0	57.0	39.0	43.0	116.0	******	******	******	******	79.0	61	*19.0*
7606	82.0	34.0	46.0	41.0	37.0	69.0	61.0	41.0	41.0	122.0	******	******	******	******	58.0	51	*16.0*
7610	117.0	72.0	76.0	56.0	49.0	68.0	77.0	108.0	53.0	356.0	82.0	******	******	******	83.0	76	*22.0*
7704	107.0	47.0	70.0	84.0	41.0	99.0	54.0	57.0	50.0	152.0	98.0	126.0	58.0	******	94.0	87	*37.0*
7705	96.0	39.0	******	******	41.0	86.0	53.0	******	33.0	143.0	74.0	104.0	******	******	95.0	77	*34.0*
7706	95.0	38.0	******	******	46.0	90.0	58.0	******	51.0	153.0	88.0	121.0	******	******	74.0	80	*36.0*
7707	65.0	36.0	55.0	59.0	39.0	69.0	58.0	39.0	40.0	146.0	71.0	101.0	64.0	59.0	69.0	69	*33.0*
7727	80.0	37.0	******	******	39.0	83.0	60.0	******	43.0	145.0	87.0	109.0	******	******	80.0	76	*34.0*
7708	93.0	41.0	******	******	43.0	85.0	64.0	******	46.0	98.0	93.0	131.0	******	******	85.0	78	*29.0*
7709	66.0	47.0	******	******	50.0	69.0	63.0	******	43.0	134.0	88.0	101.0	******	******	55.0	72	*28.0*
7710	92.0	49.0	50.0	47.0	44.0	72.0	70.0	44.0	44.0	143.0	87.0	108.0	60.0	56.0	70.0	77	*31.0*
7711	97.0	45.0	******	******	42.0	90.0	59.0	******	51.0	134.0	105.0	107.0	******	******	93.0	82	*31.0*
7803	******	43.0	64.0	65.0	44.0	******	53.0	44.0	47.0	******	******	******	57.0	77.0	84.0	58	*14.0*
7804	******	43.0	57.0	60.0	44.0	85.0	55.0	43.0	47.0	134.0	******	******	58.0	71.0	78.0	56	*12.0*
7805	******	37.0	70.0	82.0	42.0	******	58.0	45.0	47.0	******	******	******	57.0	79.0	97.0	61	*20.0*
7806	******	35.0	57.0	50.0	45.0	******	56.0	42.0	43.0	******	******	******	54.0	57.0	99.0	54	*18.0*
7807	******	33.0	44.0	43.0	40.0	67.0	61.0	47.0	43.0	130.0	******	******	54.0	71.0	65.0	50	*12.0*
7808	******	44.0	47.0	42.0	49.0	******	61.0	43.0	45.0	******	******	******	57.0	51.0	54.0	49	*6.0*
7809	******	44.0	47.0	43.0	51.0	69.0	70.0	52.0	47.0	132.0	******	******	73.0	74.0	54.0	56	*12.0*
7810	******	48.0	52.0	42.0	53.0	******	72.0	55.0	47.0	******	******	******	66.0	90.0	60.0	59	*14.0*
7811	******	51.0	60.0	76.0	44.0	77.0	64.0	47.0	44.0	131.0	******	******	62.0	80.0	92.0	62	*16.0*
7812	******	62.0	74.0	96.0	49.0	******	59.0	57.0	52.0	******	******	******	60.0	102.0	100.0	71	*21.0*
7904	******	43.0	66.0	76.0	47.0	******	57.0	48.0	51.0	******	******	******	60.0	80.0	89.0	62	*16.0*
8007	75.0	48.0	61.0	68.0	38.0	83.0	56.0	60.0	62.0	109.0	95.0	91.0	71.0	66.0	77.0	-	-
x̄ et s																	
1976	95.0 *19.0*	51.0 *19.0*	62.0 *15.0*	55.0 *13.0*	42.0 *6.0*	73.0 *8.0*	65.0 *11.0*	63.0 *39.0*	46.0 *6.0*	198.0 *137.0*	- -	- -	- -	- -	73.0 *13.0*		
1977	87.0 *14.0*	42.0 *5.0*	(58.0) *(10.0)*	(63.0) *(19.0)*	43.0 *4.0*	81.0 *10.0*	60.0 *5.0*	(47.0) *(9.0)*	45.0 *5.0*	139.0 *17.0*	88.0 *11.0*	112.0 *11.0*	(54.0) *(10.0)*	- -	79.0 *14.0*		
1978	-	44.0 *8.0*	57.0 *10.0*	60.0 *19.0*	46.0 *4.0*	(75.0) *(8.0)*	61.0 *6.0*	48.0 *5.0*	46.0 *3.0*	(132.0) *(2.0)*	- -	-	60.0 *6.0*	75.0 *15.0*	78.0 *19.0*		

Tableau 53.- Variations stationnelles et saisonnières de la conductivité pour 1976-1977-1978:

valeurs brutes(**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts-types (en *italiques*)
entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

1976

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	3154.2	2	1577.10		
station	6779.5	9	753.28	4.41	0.36
ms	3077.8	18	170.99		

1977

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	2207.2	8	275.900		
station	80735.8	9	8970.647	98.36	0.00
ms	6566.6	72	91.202		

1978

SOURCE	SUM OF SQUARES	D.F.	MEAN SQUARE	F	PROB. %
mois	3640.8	9	404.529		
station	13084.8	9	1453.862	15.64	0.00
ms	7529.4	81	92.956		

Tableau 54.- Analyse de la variance sur le tableau 53. Test de l'effet station pour les valeurs moyennes annuelles de la conductivité.

3.3.16. Conductivité (µs/cm à 25°C) (tableaux 53-54)

Pour 1976, nous avons écarté la station 130 en raison de la valeur d'octobre (356 µs/cm) trop différente de toutes les autres (inférieures à 153 µs/cm) et résultant d'une teneur en sulfates très élevée et inexpliquée.

Le test d'analyse de la variance est très significatif pour les trois années (tableau 54).

C'est un paramètre synthétique, facile à mesurer, mais difficile à interpréter si on ne dispose pas d'analyse pour les paramètres de la minéralisation.

En effet, si l'on se réfère à la figure 34, on peut dire que les contrastes séparent les stations dont la conductivité oscille entre 40 et 60 µs/cm de celles dont la conductivité est supérieure à cette valeur. Si l'on regarde attentivement la composition de ces deux groupes, on s'aperçoit que l'on réunit des stations aussi différentes que les 9 et 252 (eaux très acides sur Rv_2), et les stations 91 et 157 (eaux neutres sur E_1). De même, les 3 stations les moins minéralisées et qui se trouvent groupées par les contrastes des 3 années appartiennent à des types d'eau différents (station 31 : eau acide; station 47 et 121 : eaux neutres à tendance acide). Nous verrons plus loin que dans ces stations, on trouve des peuplements algaux très différents.

On peut donc considérer que ce paramètre offre peu d'intérêt puisque des valeurs identiques peuvent correspondre à des compositions ioniques très différentes. Dès lors, nous ne l'avons pas introduit dans notre typologie.

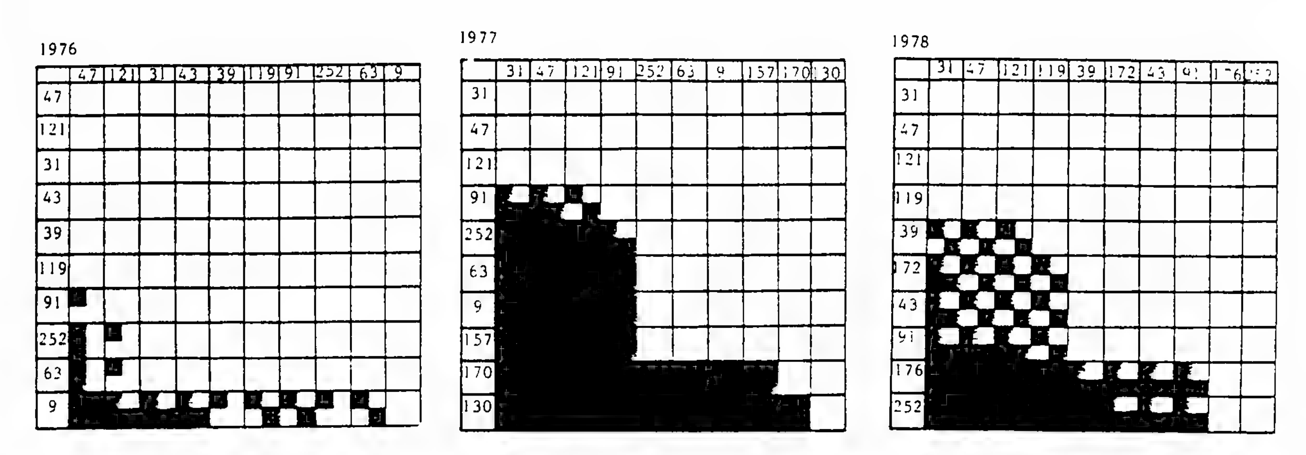


Figure 34.- Résultats des contrastes pour les valeurs moyennes de la conductivité en 1976, 1977 et 1978.

La conductivité moyenne mensuelle tend à diminuer pendant l'été parallèlement à la diminution des teneurs en H^+ et en sulfates notamment. Cependant, comme pendant la même période, l'alcalinité augmente, les variations résultantes de la minéralisation globale et de la conductivité sont faibles, sauf dans des conditions exceptionnelles (octobre 1976).

3.3.17. Oxygène dissous (% de saturation)

Pour ce paramètre, nous donnons uniquement le tableau des valeurs brutes et les moyennes mensuelles et annuelles (tableau 55). La majorité de ces valeurs étant supérieures à 90 %, on peut considérer que les eaux sont généralement saturées pendant toute l'année. Il n'y a pratiquement pas de variations mensuelles dans un sens déterminé et les variations interannuelles sont très faibles.

Les moyennes annuelles étant toutes comprises entre 90 et 96 %, (sauf la station 121 en 1977 : 89 % et la 63 en 1978 : 99 %), on peut en conclure qu'aucune station ne présente un déficit systématique.

Seules les valeurs mesurées en octobre 1976 et en novembre 1977 sont plus faibles dans toutes les stations (84 et 86 %) mais ce déficit ne s'est pas reproduit à la fin de 1978.

Ces résultats, tout en confirmant la bonne qualité des eaux dans les stations choisies, montrent que ces stations sont suffisamment éloignées des sources au niveau desquelles on observe souvent un déficit de saturation (WHITTON, 1975). On peut donc considérer que les courants importants des rivières assurent une oxygénation rapide de l'eau.

	9	31	39	43	47	63	91	119	121	130	157	170	172	176	252		
7603	97.0	95.0	95.0	98.0	103.0	101.0	100.0	96.0	95.0	97.0	****	****	****	****	99.0	98.0	*2.7*
7606	91.0	96.0	95.0	96.0	91.0	97.0	94.0	98.0	98.0	96.0	****	****	****	****	94.0	95.0	*2.4*
7610	86.0	93.0	86.0	98.0	98.0	97.0	82.0	81.0	79.0	76.0	87.0	****	****	****	87.0	84.0	*8.4*
7704	94.0	91.0	89.0	92.0	92.0	96.0	93.0	91.0	89.0	88.0	92.0	95.0	90.0	****	95.0	93.0	*.0*
7705	92.0	93.0	****	****	92.0	100.0	94.0	****	95.0	94.0	97.0	98.0	****	****	91.0	95.0	*2.9*
7706	88.0	85.0	****	****	90.0	92.0	88.0	****	84.0	85.0	93.0	89.0	****	****	88.0	98.0	*3.0*
7707	95.0	96.0	99.0	100.0	99.0	97.0	95.0	93.0	93.0	95.0	101.0	98.0	99.0	100.0	96.0	97.0	*2.3*
7727	93.0	90.0	****	****	99.0	101.0	95.0	****	93.0	91.0	96.0	99.0	****	****	92.0	95.0	*3.9*
7708	91.0	96.0	****	****	89.0	95.0	91.0	****	86.0	94.0	93.0	91.0	****	****	90.0	92.0	*3.0*
7709	98.0	104.0	****	****	96.0	103.0	100.0	****	92.0	93.0	102.0	102.0	****	****	102.0	99.0	*4.3*
7710	88.0	88.0	92.0	87.0	91.0	92.0	88.0	88.0	86.0	86.0	89.0	88.0	87.0	89.0	91.0	89.0	*2.1*
7711	87.0	87.0	****	****	85.0	89.0	86.0	****	83.0	81.0	87.0	87.0	****	****	86.0	86.0	*2.3*
7803	****	91.0	93.0	92.0	92.0	****	94.0	96.0	94.0	****	****	****	93.0	96.0	93.0	93.0	*1.6*
7804	****	92.0	91.0	91.0	91.0	96.0	93.0	88.0	93.0	93.0	****	****	91.0	94.0	92.0	92.0	*1.6*
7805	****	95.0	91.0	94.0	100.0	****	96.0	96.0	96.0	****	****	****	90.0	94.0	93.0	95.0	*2.8*
7806	****	96.0	94.0	92.0	101.0	****	96.0	93.0	94.0	****	****	****	95.0	94.0	95.0	95.0	*2.4*
7807	****	92.0	89.0	93.0	94.0	99.0	95.0	93.0	88.0	92.0	****	****	93.0	93.0	93.0	92.0	*2.2*
7808	****	91.0	97.0	94.0	98.0	****	93.0	97.0	93.0	****	****	****	93.0	93.0	95.0	94.0	*2.3*
7809	****	93.0	94.0	92.0	96.0	99.0	95.0	93.0	90.0	103.0	****	****	91.0	96.0	94.0	93.0	*2.0*
7810	****	92.0	95.0	92.0	91.0	****	92.0	92.0	89.0	****	****	****	90.0	94.0	90.0	92.0	*1.8*
7811	****	103.0	91.0	93.0	91.0	100.0	95.0	93.0	89.0	95.0	****	****	93.0	94.0	94.0	94.0	*3.7*
7812	****	107.0	92.0	92.0	91.0	****	92.0	91.0	88.0	****	****	****	92.0	96.0	94.0	94.0	*5.2*
7904	****	99.0	99.0	98.0	99.0	****	98.0	99.0	97.0	****	****	****	100.0	100.0	101.0	99.0	*1.2*
8007	92.0	92.0	88.0	93.0	86.0	99.0	93.0	92.0	90.0	86.0	93.0	94.0	92.0	94.0	91.0	-	-
x et s																	
1976	91.0	91.0	92.0	94.0	94.0	95.0	92.0	92.0	91.0	90.0	-	-	-	-	93.0		
	5.5	*7.2*	*5.2*	*5.3*	*7.9*	*7.2*	*9.2*	*9.3*	*10.2*	*11.8*	-	-	-	-	*6.0*		
1977	92.0	92.0	(93.0)	(93.0)	93.0	96.0	92.0	(91.0)	89.0	90.0	95.0	94.0	(92.0)	-	92.0		
	3.7	*5.8*	*(5.1)*	*(6.8)*	*4.7*	*4.6*	*4.4*	*(2.5)*	*4.4*	*4.9*	*3.2*	*3.5*	*(6.2)*	-	*4.8*		
1978	-	95.0	93.0	93.0	95.0	(99.0)	94.0	93.0	91.0	(96.0)	-	-	92.0	94.0	93.0		
	-	*5.5*	*2.4*	*1.0*	*4.0*	*(0.8)*	*1.5*	*2.2*	*2.9*	*(5.0)*	-	-	*1.6*	*1.3*	*1.5*		

Tableau 55.- Variations stationnelles et saisonnières du pourcentage de saturation en oxygène dissous pour 1976, 1977 et 1978:

valeurs brutes (**** = données manquantes)
valeurs moyennes annuelles et mensuelles et écarts types (en italiques); entre parenthèses: moyennes sur séries réduites à 3-4 prélèvements.

3.4. Typologie physico-chimique (tableau 56, hors texte)

A l'aide de tests statistiques, nous avons donc réparti les valeurs moyennes annuelles des 15 stations les mieux prospectées en un certain nombre de classes significativement différentes.

Utilisant les valeurs limites données dans les tableaux 14, 19, 22, 25, 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49 et 52, nous avons transformé en classes les valeurs moyennes annuelles des 72 stations de référence et obtenu 11 groupes de stations, c'est-à-dire 11 types chimiques moyens différents (tableau 56).

La position d'une station dans le tableau 56 a d'abord été déterminée sur base du pH qui permet de distinguer 4 types principaux correspondant aux 4 classes de pH :

- les eaux acides;
- les eaux intermédiaires acides;
- les eaux intermédiaires légèrement acides;
- les eaux neutres.

Pour les eaux neutres, il est possible d'affiner le classement en utilisant l'alcalinité.

On sépare ainsi les stations dont les valeurs moyennes d'alcalinité correspondent aux classes :

- 3 et 4, ces eaux ayant encore un pH légèrement acide en hiver et au printemps mais la différence, trop faible, n'est pas significative pour ce paramètre;
- 5 et 6, ces eaux étant neutres ou à tendance basique.

Pour les eaux acides ou intermédiaires, il est possible de rassembler les stations pour lesquelles le paramètre sulfates est en classe 2 ou 3, alors que dans les eaux neutres,il est toujours en classe 1.

On peut ensuite rassembler les stations en fonction des teneurs en calcium, magnésium, fer et aluminium avec pour ces deux derniers paramètres une distribution très nette des teneurs élevées dans les eaux acides et intermédiaires acides.

Ce classement établi, nous avons enfin complété le tableau avec les autres paramètres. On constate que les classes élevées (2 et 3) pour les chlorures, les nitrates et le sodium correspondent généralement à des teneurs plus élevées

en sulfates et (ou) en calcium. Dès lors, pour chaque type principal (acide, intermédiaire et neutre), les stations les plus minéralisées sont regroupées à droite (59, 170, 169 et 130 pour le type intermédiaire légèrement acide; 42 à 198 pour le type neutre).

Le potassium et l'oxydabilité sont surtout représentés par la classe 1 et sont donc peu discriminants.

Enfin, les résultats concernant la silice ne sont pas assez complets et les 4 classes sont distribuées irrégulièrement dans le tableau.

Dans le chapitre 3.2., nous avons montré le parallélisme entre la composition physico-chimique de l'eau et l'assise géologique sur laquelle elle s'écoule, en choisissant des cours d'eau situés sur une seule assise.

Notre tableau typologique et le tableau 57 qui synthétisent les éléments essentiels vont encore plus loin dans ce sens : ils renforcent et précisent cette corrélation pour des séquences géologiques mixtes en amont des stations de prélèvement et montrent que l'influence d'un substrat un peu plus riche (par exemple le Rv_3 après le Rv_2) est très nette malgré la faible puissance des assises (parfois quelques centaines de mètres seulement).

La nécessité de disposer d'un relevé géologique très précis apparaît donc ici clairement si on veut comprendre la composition chimique d'une eau et ses variations saisonnières.

Assises géologiques	Types chimiques moyens		Situations géologiques mixtes
Rv_2	1-2	3	Rv_2 (+ Rv_3 + Sm)
Rv_3	4	4	(Rv_2) + Rv_3-Sm
		5	
Sm, S_1	6	6	
		7	(Rv_2) Rv_3-Sm + silexite
S_3	8		
S_2	9	9	Gd-S_1
E_1	10-11	10	E_2-E_1-S_3

Tableau 57.- Correspondance entre les types chimiques moyens et les assises géologiques en amont des stations de prélèvement.

N° DE GROUPE	PH 4 classes		ALCALINITÉ 6 classes		SULFATES 3 classes		CALCIUM 3 classes		MAGNÉSIUM 3 classes		FER 2 classes		ALUMINIUM 2 classes	
1	1	3.6- 4.1 (-) 3.3- 4.2(4.3)	1	0.0- 0.0 (-) 0.0- 0.0(-)	2	11.0-15.0 (-) 6.5-15.7(25.3)	1	1.4- 1.7 (-) 0.7- 2.7(5.5)	1	0.5- 1.3 (-) 0.0- 1.5(2.3)	1+2	0.0- 2.8 (-) 0.0- 2.0(7.2)	2	0.4- 1.1 (-) 0.1- 1.6(-)
2		3.7- 4.4 (-) 3.5- 4.6(5.8)		0.0- 0.3 (-) 0.0- 0.0(2.0)	3	18.2-27.7 (10.3) 14.7-23.2(49.0)	2	3.0- 5.8 (2.0) 2.1- 4.2(10.8)		0.9- 1.6 (-) 0.1- 2.5(2.9)				
3		4.0- 4.4 (-) 3.6- 4.9(5.8)		0.0- 0.3 (-) 0.0- 0.5(2.0)	2	14.4-17.6 (-) 13.0-19.5(31.8)		3.2- 6.3 (-) 2.6- 6.7(9.5)		0.8- 1.7 (-) 0.2- 2.1(2.7)				
4	2	4.6- 5.4 (-) 3.4- 6.4(-)	2	0.7- 2.7 (-) 0.0- 3.0(8.0)	2	9.6-18.0 (-) 4.1-22.7(27.3)	2	2.3- 4.8 (-) 1.5- 7.4(-)	1	0.7- 1.3 (-) 0.2- 2.2(4.0)	1+2	0.0- 2.8 (-) 0.0- 2.0(7.2)	1+2	0.0- 1.1 (-) 0.0- 1.6(-)
5		4.9- 5.2 (-) 4.3- 5.7(-)		0.7- 2.0 (-) 0.0- 3.0(4.0)	3	18.6-21.8 (-) 14.1-20.0(38.3)		5.9- 6.1 (-) 2.3- 7.0(10.0)	2	1.9- 2.8 (-) 1.0- 3.1(4.7)	1	0.0- 0.5 (-) 0.0- 1.2(-)	2	0.4- 1.1 (-) 0.1- 1.6(-)
6	3	5.6- 6.5 (4.0) 4.6- 7.0(7.3)	3	2.8- 5.7 (0.0) 0.6-10.0(13.0)	1+2	3.8-14.2 (-) 1.1-19.4(24.8)	2	2.5- 4.7 (-) 1.1- 5.9(8.7)	1	1.0- 1.8 (-) 0.0- 2.4(2.9)	1	0.0- 0.5 (-) 0.0- 1.2(-)	1	0.0- 0.3 (-) 0.0- 1.0(-)
7		5.7- 6.5 (-) 4.6- 6.5(7.4)		2.9- 5.0 (-) 0.0-10.0(-)	3	20.7-22.2 (-) 16.7-25.4(-)	3	7.9- 8.4 (-) 6.0- 9.7(10.6)	2	2.2- 2.4 (-) 1.4- 3.3(3.5)				
8	4	6.7- 7.1 (5.4) 6.2- 7.0(7.4)	3	5.0- 5.7 (1.5) 2.0- 8.0(10.0)	1	2.2- 6.1 (-) 1.7- 5.4(10.9)	1	1.8- 2.1 (-) 1.1- 2.7(4.0)	1	1.1- 1.6 (-) 0.6- 1.7(2.2)	1	0.0- 0.5 (-) 0.0- 1.2(-)	1	0.0- 0.3 (-) 0.0- 1.0(-)
9		6.7- 7.1 (5.4) 5.7- 7.6(-)	4	6.0- 8.7 (-) 1.0-16.0(-)		2.3- 9.3 (-) 0.5-14.3(18.9)	2	2.4- 4.9 (-) 1.7- 5.8(6.8)		1.2- 1.9 (-) 0.6- 2.2(2.6)				
10		6.9- 7.3 (5.5) 6.0- 7.6(-)	5	9.2-15.3 (1.5) 2.0-24.0(-)		3.5- 9.3 (-) 0.3-10.3(12.4)		2.2- 7.3 (-) 1.9- 7.1(9.7)	2+3	2.1- 3.7 (-) 1.4- 4.2(4.4)				
11		6.9- 7.3 (-) 6.6- 7.4(-)	6	21.0-23.3 (-) 5.0-32.0(37.0)		4.3- 7.6 (-) 3.3- 8.1(9.2)		4.4- 5.8 (-) 2.5- 6.4(7.8)	3	3.4- 4.4 (-) 2.2- 4.4(5.9)				

CAS PARTICULIERS (2,8 % DU CORPUS COMPLET)

N° DE GROUPE	N° DE STATION	N° DE CLASSE DU PARAMÈTRE		VALEURS MOYENNES	MESURES EXTRÊMES
4	168	SO_4	1	-	(1 seule mesure : 4,9)
		CA	1	-	(1 seule mesure : 1,0)
	30	CA	1	2.1	(*) 1.6- 3.0(-)
	144	MG	2	2.2	(*) 1.7- 2.7(*)
5	133	pH	3	5.9	(*) 5.0- 6.2(6.6)
6	31	FE	2	0.7- 0.9	(0.0) 0.1- 1.9(-)
7	130	MG	3	3.0- 6.1	(-) 1.9- 5.0(10.8)
		FE	2	0.5- 0.9	(-) 0.2- 1.4(1.5)

N° DE GROUPE	N° DE STATION	N° DE CLASSE DU PARAMÈTRE		VALEURS MOYENNES	MESURES EXTRÊMES
9	121	pH	3	6.4- 6.5	(4.9) 6.0- 7.1(-)
	44	MG	2	-	(1 seule mesure: 1,8)
		FE	2	-	(1 seule mesure: 1.3)
	66	MG	3	3.8	(-) 3.1- 4.2(4,6)
10	165	FE	2	-	(1 seule mesure: 3.2)
11	198	FE	2	-	(1 seule mesure: 3.2)

Tableau 58.- Tableau de détermination du type chimique à partir des valeurs moyennes annuelles et des valeurs extrêmes des 7 principaux paramètres physico-chimiques. Entre parenthèses : valeurs extrêmes en période de crues très fortes (à gauche) et d'étiage (à droite).

3.5. Utilisation pratique de notre typologie physico-chimique

Le tableau 58 donne pour les 7 paramètres principaux et pour chacun des 11 groupes de stations, les limites réelles des classes exprimées en valeurs moyennes annuelles extrêmes (grands chiffres), en valeurs ponctuelles minimales et maximales (petits chiffres) en période normale ou lors de conditions climatiques exceptionnelles (entre parenthèses : à gauche pour les crues, à droite pour les périodes d'étiage).

Nous donnons, pour le pH, un exemple concret qui peut être étendu aux autres paramètres. La classe 1, telle que définie dans le tableau 14, s'étend de 3.6 à 4.4 (valeurs moyennes annuelles) et de 3.3 à 4.9 (valeurs ponctuelles).

Cependant, on obtient des valeurs plus restrictives et plus précises, si l'on considère isolément les groupes de stations des 3 premiers types chimiques qui correspondent à cette classe de pH :

- type 1 : 3.6-4.1 (valeurs moyennes) et 3.3-4.2 (valeurs ponctuelles);
- type 2 : 3.7-4.4 (valeurs moyennes) et 3.5-4.6 (valeurs ponctuelles);
- type 3 : 4.0-4.4 (valeurs moyennes) et 3.6-4.9 (valeurs ponctuelles).

Les limites globales pour ces 3 types (3.6-4.4 et 3.3-4.9) doivent évidemment être identiques à celles précédemment définies pour la classe 1 du pH.

Inversément, nous avons quelquefois regroupé les valeurs limites de 2 classes quand leur distribution était irrégulière dans le tableau (par exemple, le fer 1+2 pour les types chimiques moyens 1,2 et 3).

Conçu de cette façon, le tableau 58 permet de classer une station dans un des types chimiques moyens à l'aide des valeurs moyennes annuelles des paramètres, calculées à partir de prélèvements mensuels ou, au moins trimestriels (printemps, été, automne).

Une station prospectée une seule fois sera évidemment plus délicate à placer en raison des recoupements entre les valeurs ponctuelles minimales et maximales de chaque classe. C'est le cas pour les stations 175, 96, 168, 153, 14, 169, 19, 44, 190, 188, 189, 165, 191, 198.

La deuxième partie du tableau 58 rassemble quelques cas particuliers : par exemple, le calcium aux stations 30 et 168 est en classe 1 alors que les autres stations de ce groupe sont en classe 2. D'autre part, on n'y trouve pas de valeurs moyennes pour les stations 168, 44, 165 et 198 qui n'ont été prospectées qu'une fois et il y a une seule valeur moyenne pour les stations prospectées pendant une seule année (stations 30, 144, 133 et 66).

CHAPITRE 4

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Nos analyses physico-chimiques montrent que les eaux de la région étudiée sont toutes oligo- à mésotrophes, acides à neutres et peu minéralisées.

Mise à part la température, les autres paramètres varient très peu au cours d'une même journée et pendant la nuit. Par contre, sauf dans les eaux très acides, la composition physico-chimique de ces rivières se modifie régulièrement au cours des saisons : nous avons enregistré chaque année, entre mai et novembre, une augmentation du pH, de l'alcalinité et du fer et une diminution des nitrates, de l'aluminium et des sulfates, si bien que la minéralisation globale reste à peu près constante. Ces modifications ne sont pas élevées en valeur absolue, mais sont importantes quand on les compare au niveau de minéralisation de ces eaux. Elles ont un effet sensible sur la végétation algale. En cas de sécheresse prolongée, quand les débits sont très faibles, on peut observer une augmentation générale des sels dissous et la minéralisation globale peut doubler (octobre 1976). En cas de crues très fortes (juillet 1980), la minéralisation se modifie peu par augmentation des sulfates et diminution de l'alcalinité et le pH peut descendre très bas.

Les variations saisonnières les plus spectaculaires concernent les milieux de type intermédiaire, c'est-à-dire les eaux coulant successivement sur des assises plus ou moins riches. Dans ce cas, il n'est pas rare de passer d'un type acide en hiver à un type intermédiaire, même quelquefois à un type neutre à tendance acide, pendant l'été. L'hypothèse avancée pour expliquer ces changements est l'influence prépondérante des roches les plus pauvres en hiver et en périodes de crues et des roches les plus riches en été et en étiage quand leur dissolution est favorisée par l'augmentation du temps de passage de l'eau (débits plus faibles), mais aussi par des températures plus élevées.

Différents facteurs ont été invoqués pour expliquer ces variations saisonnières; ainsi nous avons pu mettre en parallèle les variations mensuelles des teneurs en nitrates avec les variations de la température moyenne mensuelle de l'air et les variations de certains autres paramètres (pH, sulfates, fer) avec celles d'un modèle calculant le rapport entre la température moyenne et la pluviosité moyenne comme estimateur indirect du débit. Pour l'alcalinité, nous avons dû faire intervenir en plus la productivité primaire qui, lorsqu'elle est élevée, peut modifier l'équilibre CO_2-bicarbonates.

Ces fluctuations normales ou accidentelles rendent insuffisante une seule mesure pour caractériser une station. Nous pensons qu'il est indispendable, dans ce type de milieu, de disposer pour chaque station, d'au moins 3 mesures (printemps, été, automne) dans des conditions climatiques normales. Des prélèvements complémentaires en période de crue ou d'étiage sont utiles pour déterminer l'amplitude maximum de variation de chaque paramètre.

Dans cette optique, nous avons basé notre typologie sur des valeurs moyennes annuelles qui présentent plusieurs avantages :

- ces valeurs étant très stables d'une année à l'autre pour chaque station, ont une signification typologique élevée et indiquent que les variations saisonnières sont globablement les mêmes chaque année;
- elles rendent notre classement indépendant des variations saisonnières et des aléas climatiques;
- elles nous permettent cependant d'intégrer, mais de façon tamponnée, certaines modifications qui n'apparaissent qu'en été ou en période d'étiage et qui sont liées à des particularités géologiques parfois très ponctuelles comme les massifs de tonalite ou de silexite et les couches peu épaisses de roches du Revinien 3; l'effet de ces roches est manifestement accru pendant les périodes chaudes et sèches; dans certaines stations, il n'est d'ailleurs perceptible que dans ces conditions alors qu'un prélèvement hivernal ou printanier ne fournissent aucune indication de ce type. Ces effets, si discrets soient-ils au niveau physico-chimique, ont des répercussions sensibles au niveau de la végétation algale et nous y ferons fréquemment référence par la suite.

Le système de classement des valeurs moyennes annuelles, mis au point à partir de tests statistiques de contrastes conduit à une perte d'information très faible puisqu'en définitive, notre tableau typologique (tableau 56) distingue, sur base des 7 paramètres principaux (pH, alcalinité, sulfates, calcium, magnésium, fer et aluminium), 11 types chimiques moyens étroitement corrélés à la séquence géologique en amont de chaque station.

L'étude de la végétation algale sera réalisée de façon analogue, en faisant fréquemment référence à cette typologie physico-chimique et aux variations saisonnières des caractéristiques des eaux.

CHAPITRE 5.

ÉTUDE DES PEUPLEMENTS DE DIATOMÉES

5.I. Méthodes, listes floristiques, comptages

5.1.1. Echantillonnage des diatomées

Les récoltes de diatomées sont faites à l'aide d'une brosse de nylon à poils raides et espacés, avec laquelle on nettoie une surface d'environ 400 cm^2. Cette surface importante, a été adoptée en fonction de la productivité assez faible des rivières étudiées. Cet échantillon est utilisé pour les études floristique et écologique. DESCY préconise une surface minimum de 12,45 cm^2 (1976a) mais mentionne 21 cm^2 par ailleurs (1976b).

Le système de "pompe à diatomées" (DESCY, 1976a) qui devrait théoriquement permettre de faire une récolte sur une surface connue avec précision, donc convenant pour une étude quantitative, est inutilisable dans les cours d'eau étudiés. En effet, il ne peut être employé avec efficacité que sur des roches à surface suffisamment régulière, par exemple sur les pierres équarries des berges artificielles. C'est rarement le cas des roches naturelles en place.

De plus, nous montrerons plus loin dans quelle mesure la nature du substrat, à qualité d'eau équivalente, peut avoir une influence sur la composition du peuplement, tout au moins dans les eaux oligotrophes. Pour l'étude des groupements naturels, il convient donc d'éviter de prélever sur des berges artificielles, d'autant plus que leur nature peut être complètement étrangère aux types de roches en place localement.

Enfin, lorsque la productivité primaire est faible, ce système de prélèvement devient fastidieux car il faut multiplier les échantillons pour augmenter la fiabilité de l'échantillonnage.

Pour l'étude de la productivité primaire, nous avons préféré le procédé simple de plaques de verre (10 x 10 cm) immergées pendant 3-4 semaines. Les résultats sont exprimés en mg de chlorophylle par m^2 et par jour et en nombre de diatomées par mm^2 et par jour après comptage à l'hémocytomètre.

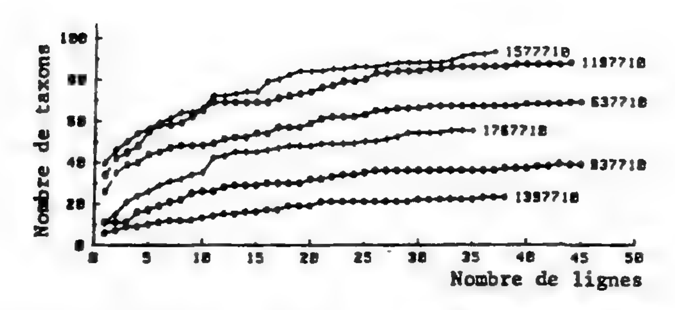


Figure 35.- Evolution des nombres cumulés de taxons pendant l'examen d'une préparation (balayage horizontal par lignes).

Nombre de taxons
STATION 31
STATION 39
STATION 252
Nbre de comptages

Nombre de taxons
STATION 91
STATION 47
STATION 43
Nbre de comptages

Nombre de taxons
STATION 119
STATION 63
Nbre de comptages

Nombre de taxons
STATION 40
STATION 8
Nbre de comptages

Nombre de taxons
STATION 42
STATION 38
STATION 29
Nbre de comptages

Nombre de taxons
STATION 157
STATION 66
STATION 83
STATION 33
Nbre de comptages

Figure 36.- Evolution des nombres cumulés de taxons dans quelques stations, après plusieurs prélèvements à différents moments de l'année.

Le prélèvement est fixé à la formaldéhyde (10 %) pour l'étude ultérieure des algues non siliceuses. Une partie est traitée à l'acide nitrique à chaud, centrifugée, puis rincée plusieurs fois. Quelques gouttes de cette suspension aqueuse de diatomées sont étalées soigneusement sur une lame porte-objet et mises à sécher sur une plaque chauffante. Si, après séchage, la répartition des diatomées est homogène et la densité suffisante, on ajoute un milieu de montage adéquat (NAPHRAX) et une lamelle couvre-objet (26 x 21 mm).

5.1.2. Etablissement de la liste floristique

L'échantillon monté entre lame et lamelle s'étend sur une surface de 546 mm^2. La densité optimale pour le comptage se situe autour de 30 valves par champ microscopique vu avec l'objectif 50X à immersion (surface du champ : 0,07 mm^2).

L'ensemble de la préparation est parcouru en trois temps :

- une partie avec l'objectif 50X pour l'établissement d'une liste préliminaire, jusqu'à stabilisation du nombre de taxons;
- une autre partie avec l'objectif 50X pour le comptage de 500 valves soit 20 à 30 champs, parfois davantage lorsque l'échantillon est pauvre en diatomées (comptage au hasard, un champ sur trois);
- le reste de la préparation avec l'objectif 50X pendant un moment puis avec l'objectif 20X, afin de compléter la liste floristique.

En procédant de la sorte, 100000 à 200000 valves ont été observées dans chaque échantillon. Cette méthode est utilisée par d'autres auteurs, notamment VAN DAM & KOOYMAN-VAN BLOKLAND (1978).

La figure 35 montre que cette façon de procéder permet d'avoir un relevé très complet d'un échantillon à un moment donné. Cependant, ce relevé s'avère incomplet lorsqu'on le compare à ceux obtenus dans les mêmes stations à d'autres périodes de l'année : en effet, des variations saisonnières importantes modifient la composition des peuplements (nombre et type de taxons occasionnels et proportions entre les taxons principaux).

A ce propos, il est utile d'examiner les nombres cumulés de taxons dans une station après plusieurs prélèvements à différents moments de l'année.
Pour ce faire, nous disposons de chiffres concernant 10 stations des types chimiques principaux, qui ont été visitées au moins 16 fois et 4 d'entre elles jusqu'à

N° de station	Nombre de prélèvements																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
31	49	60	83	86	96	102	110	115	116	125	128	131	132	136	138	140	143	144	146	146	146	146	146
47	63	76	84	101	113	120	130	134	140	144	148	151	152	154	154	155	155	157	158	160	162	162	167
91	55	95	106	115	128	134	141	144	155	163	173	176	178	181	184	185	188	189	189	193	194	196	197
252	9	14	21	21	21	22	27	45	47	47	48	50	51	52	55	59	61	65	68	72	-	-	(74)
39	16	43	56	59	63	69	70	70	72	77	78	80	81	86	86	88	88	-	-	-	-	-	(92)
43	39	66	68	73	75	81	83	84	87	92	94	101	106	108	112	116	-	-	-	-	-	-	(123)
63	71	90	103	110	114	122	129	130	138	143	144	147	149	159	166	166	-	-	-	-	-	-	(176)
119	84	99	106	130	151	157	160	162	171	175	177	182	187	196	204	207	209	-	-	-	-	-	(219)

Tableau 59.- Evolution du nombre de taxons cumulés en fonction du nombre de prélèvements dans quelques stations étudiées pendant 3 ans (1976-1977-1978). Entre parenthèses : nombres estimés à partir des chiffres des 3 premières stations.
Premier prélèvement en mars 1976 (régime d'hiver).

N° de station	Nombre de prélèvements																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
31	34	41	57	59	66	70	75	79	79	86	88	90	90	93	95	96	98	99	100	100	100	100	100
47	38	46	50	60	68	72	78	80	84	86	89	90	91	92	92	93	93	94	95	96	97	97	100
91	28	48	54	58	65	68	72	73	79	83	88	89	90	92	93	94	95	96	96	98	98	99	100
252	12	19	28	28	28	30	36	60	64	64	65	68	69	70	74	80	82	88	92	97	-	-	-
39	17	47	61	64	68	75	76	76	78	84	85	87	88	93	93	96	96	-	-	-	-	-	-
43	32	54	55	59	61	66	67	68	71	75	76	82	86	88	91	94	-	-	-	-	-	-	-
63	40	51	59	63	65	69	73	74	78	81	82	84	85	90	94	94	-	-	-	-	-	-	-
119	38	45	48	59	69	72	73	74	78	80	81	83	85	89	93	95	95	-	-	-	-	-	-
m_1	33	45	54	59	66	70	75	77	81	85	88	90	90	92	93	94	95	96	97	98	98	99	100
m_2	30	44	52	56	61	65	69	73	76	80	82	84	86	89	91	93	93	94	96	98	98	99	100

Tableau 60.- Pourcentage du nombre de taxons observés en fonction du nombre de prélèvements en considérant égal à 100 % le nombre total de taxons obtenu après 23 prélèvements (stations 31, 47 et 91) ou le nombre estimé du tableau 59 pour les autres stations
m_1 : nombres moyens pour les stations 31, 47 et 91; m_2 : nombres moyens pour les 8 stations.

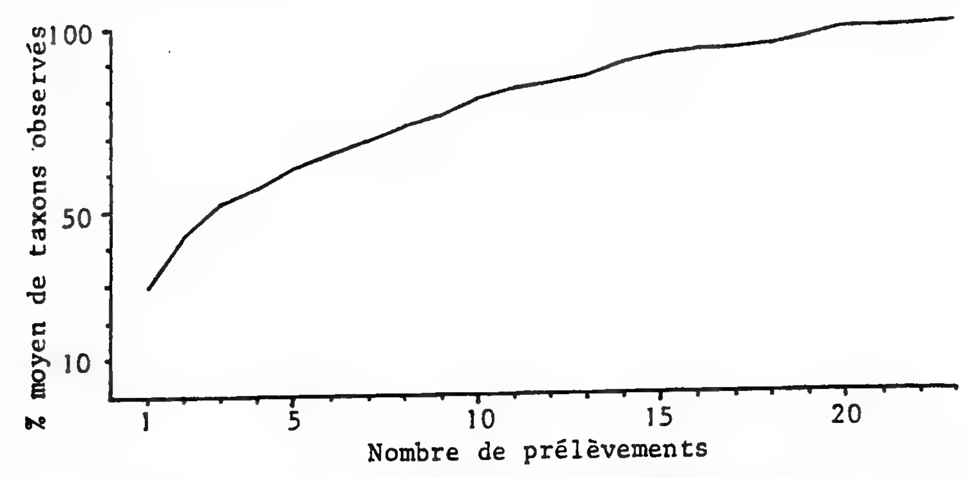


Figure 37.- Evolution du pourcentage moyen de taxons observés (m_2 dans le tableau 60) en fonction du nombre de prélèvements.
Premier prélèvement en mars 1976 (régime d'hiver).

23 fois, réparties sur 3 années. L'évolution des nombres cumulés (tableau 59) apparaît sur la figure 36.

On constate que, en dehors de certaines stations acides (29, 33, 38, 39, 93) où la stabilisation se dessine dès le 6ème prélèvement, on n'atteint un nombre plafond qu'après une quinzaine de prélèvements.

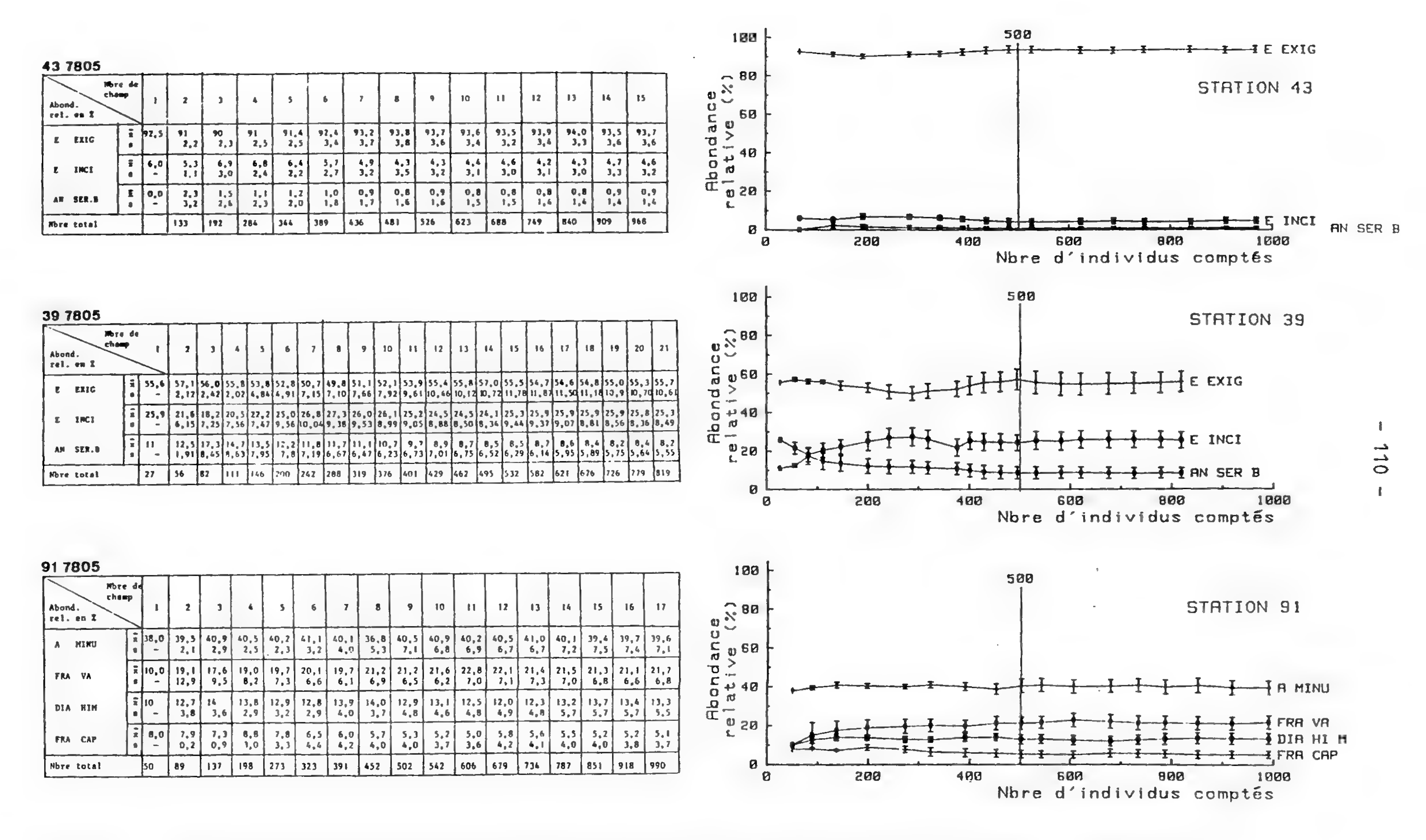
A partir des données concernant les stations de différents types étudiées plus de 15 fois, et considérant égal à 100 % le nombre de taxons obtenu après 23 prélèvements, il est possible d'évaluer le pourcentage moyen de taxons trouvés après un certain nombre de prélèvements (tableau 60 et figure 37). L'évolution des pourcentages est assez homogène dans les différentes stations. Pour les stations prospectées moins souvent, les pourcentages sont calculés à partir du nombre maximum de taxons estimés à partir des 3 stations visitées 23 fois (nombre figurant entre parenthèses dans le tableau 59). En raison de cette approximation, nous donnons les pourcentages moyens pour les 3 stations les mieux prospectées (m_1 pour 31, 47 et 91) et pour les 8 stations considérées (m_2). Ces deux moyennes diffèrent très peu.

On constate qu'après les 3 premiers prélèvements en mars, juin et octobre 1976, on n'a relevé que 50 % du nombre maximum de taxons rencensés. La révision de ces lames à la fin de notre étude a montré que peu de taxons s'ajoutent aux premières listes et que l'inventaire était donc déjà assez complet. Après 3 nouveaux prélèvements, on atteint 65 % et il en faut au moins 15 pour arriver à 90 %. En raison de la variation de la richesse floristique des peuplements en cours d'année, on ne peut utiliser cette courbe que pour des stations visitées pour la première fois en période hivernale.

En conclusion, au niveau d'un échantillon, on obtient une très bonne estimation du nombre de taxons en utilisant notre méthode d'investigation en 3 temps, à condition de parcourir l'ensemble de la préparation soit 546 mm^2, et d'avoir une densité suffisante de valves dans chaque champ microscopique (20 à 30 par champ avec l'objectif 50X soit 100000 à 200000 par lame).

Ce dénombrement floristique, complet pour une station à l'échelle d'un échantillon ponctuel, compte en réalité seulement 30 % des taxons mentionnés après 23 prélèvements effectués à différents moments de l'année.

Les nombreux taxons qui viennent s'ajouter à la liste, quand on multiplie les prélèvements, sont évidemment rares à très rares. Ils n'interviennent généralement pas dans les comptages, mais leur présence peut néanmoins avoir une signification écologique.



43 7805

Abond. rel. en % \ Nbre de champ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
E EXIG	x̄	92,5	91	90	91	91,4	92,4	93,2	93,8	93,7	93,6	93,5	93,9	94,0	93,5	93,7
	s		2,2	2,3	2,5	2,5	3,4	3,7	3,8	3,6	3,4	3,2	3,4	3,3	3,6	3,6
E INCI	x̄	6,0	5,3	6,9	6,8	6,4	5,7	4,9	4,3	4,3	4,4	4,6	4,2	4,3	4,7	4,6
	s	-	1,1	3,0	2,4	2,2	2,7	3,2	3,5	3,2	3,1	3,0	3,1	3,0	3,3	3,2
AN SER.B	x̄	0,0	2,3	1,5	1,1	1,2	1,0	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
	s	-	3,2	2,6	2,3	2,0	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,6	1,4	1,4	1,4
Nbre total			133	192	284	344	389	436	481	526	623	688	749	840	909	968

39 7805

Abond. rel. en % \ Nbre de champ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
E EXIG	x̄	55,6	57,1	56,0	55,8	53,8	52,8	50,7	49,8	51,1	52,1	53,9	55,4	55,8	57,0	55,5	54,7	54,6	54,8	55,0	55,3	55,7
	s	-	2,12	2,42	2,02	4,84	4,91	7,15	7,10	7,66	7,92	9,61	10,46	10,12	10,72	11,78	11,87	11,50	11,18	10,9	10,70	10,61
E INCI	x̄	25,9	21,6	18,2	20,5	22,2	25,0	26,8	27,3	26,0	26,1	25,2	24,5	24,5	24,1	25,3	25,9	25,9	25,9	25,9	25,8	25,3
	s	-	6,15	7,25	7,56	7,47	9,56	10,04	9,38	9,53	8,99	9,05	8,88	8,50	8,34	9,44	9,37	9,07	8,81	8,56	8,36	8,49
AN SER.B	x̄	11	12,5	17,3	14,7	13,5	12,2	11,8	11,7	11,1	10,7	9,7	8,9	8,7	8,5	8,5	8,7	8,6	8,4	8,2	8,4	8,2
	s	-	1,91	8,45	8,63	7,95	7,8	7,19	6,67	6,47	6,23	6,73	7,01	6,75	6,52	6,29	6,14	5,95	5,89	5,75	5,64	5,55
Nbre total		27	56	82	111	146	200	242	288	319	376	401	429	462	495	532	582	621	676	726	779	819

91 7805

Abond. rel. en % \ Nbre de champ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A MINU	x̄	38,0	39,5	40,9	40,5	40,2	41,1	40,1	36,8	40,5	40,9	40,2	40,5	41,0	40,1	39,4	39,7	39,6
	s	-	2,1	2,9	2,5	2,3	3,2	4,0	5,3	7,1	6,8	6,9	6,7	6,7	7,2	7,5	7,4	7,1
FRA VA	x̄	10,0	19,1	17,6	19,0	19,7	20,1	19,7	21,2	21,2	21,6	22,8	22,1	21,4	21,5	21,3	21,1	21,7
	s	-	12,9	9,5	8,2	7,3	6,6	6,1	6,9	6,5	6,2	7,0	7,1	7,3	7,0	6,8	6,6	6,8
DIA HIM	x̄	10	12,7	14	13,8	12,9	12,8	13,9	14,0	12,9	13,1	12,5	12,0	12,3	13,2	13,7	13,4	13,3
	s	-	3,8	3,6	2,9	3,2	2,9	4,0	3,7	4,8	4,6	4,8	4,9	4,8	5,7	5,7	5,7	5,5
FRA CAP	x̄	8,0	7,9	7,3	8,8	7,8	6,5	6,0	5,7	5,3	5,2	5,0	5,8	5,6	5,5	5,2	5,2	5,1
	s	-	0,2	0,9	1,0	3,3	4,4	4,2	4,0	4,0	3,7	3,6	4,2	4,1	4,0	4,0	3,8	3,7
Nbre total		50	89	137	198	273	323	391	452	502	542	606	679	734	787	851	918	990

Tableau 61.- Evolution du pourcentage d'abondance relative des taxons principaux au cours du comptage, dans trois stations différentes.

5.1.3. Comptages

5.1.3.1. Nombre de valves à compter

L'estimation du nombre minimum de valves à compter ressort de comptages où l'on note les résultats de chaque champ dénombré. Il est alors possible de calculer l'abondance relative des principaux taxons par champ microscopique et d'examiner l'évolution de la moyenne et de l'écart type quand s'y ajoutent les champs suivants.

Dans le tableau 61 et les graphiques correspondants, ces 2 paramètres sont donnés pour les taxons principaux jusqu'à atteindre un nombre total cumulé d'un millier de valves pour tous les taxons.

La stabilisation des moyennes est atteinte très rapidement dans le cas des peuplements très peu diversifiés d'eau acide (station 43 où E EXIG a une abondance relative de 95 %). Elle est plus lente pour des stations où plusieurs taxons sont codominants. Les figures indiquent alors clairement que la stabilisation de l'abondance relative et de l'écart type est acquise à partir de 500 individus comptés.

Ces conclusions sont confirmées par d'autres comptages poursuivis jusqu'à 1500 individus et dont nous donnons dans le tableau 62 les abondances relatives et les écarts types calculés après 500, 1000 et 1500 valves comptées.

Ces différents résultats fixent à 500 le nombre minimum de valves à compter, quelle que soit la composition du peuplement et sa diversité. En réalité, sur l'ensemble de nos comptages, le nombre moyen est de 530 valves. Il est utile de noter que nos observations en microscopie électronique montrent une faible proportion de diatomées dissociées par le traitement à l'acide nitrique. Le nombre de valves correspond donc à un nombre légèrement plus faible d'individus, mais il est difficile de distinguer au microscope optique les valves isolées des individus complets sauf dans certains genres *(Achnanthes, Cocconeis, Rhoicosphenia, Peronia)*. VAN DAM & KOOYMAN-VAN BLOKLAND (1978) effectuent un comptage de 500 frustules, complété par un examen complémentaire pour la liste floristique. VAN DAM cite également les chiffres de 400 frustules (1979) ou de 400 valves (1981). COSTE (1976) compte "400 à 600 individus suivant la richesse de la préparation" et DESCY (1979), 500 individus.

Ce type de comptage rapide, associé à l'inventaire floristique obtenu par la méthode décrite plus haut, donne des résultats comparables entre stations. Il s'avère moins fastidieux que les comptages de 7000 à 8000 individus préconisés par PATRICK (1963).

Station 918108		Nombre de valves comptées		
		500	1000	1500
A MINU	A.R. en %	58.0	59.3	58.4
	s	(3.0)	(5.2)	(5.4)
FRA CAP	A.R. en %	18.7	17.3	18.2
	s	(1.2)	(3.5)	(3.5)
FRA VA	A.R. en %	4.0	3.8	3.5
	s	(2.9)	(2.4)	(2.1)
SY ULN	A.R. en %	3.8	3.6	3.6
	s	(2.6)	(2.5)	(2.3)

Station 318108		Nombre de valves comptées		
		500	1000	1500
E EXIG	A.R. en %	53.0	53.6	53.9
	s	(6.2)	(5.4)	(4.7)
FRA CAP	A.R. en %	15.8	16.4	15.9
	s	(3.0)	(3.2)	(4.1)
A MINU	A.R. en %	8.8	8.5	8.5
	s	(3.3)	(2.7)	(3.0)
GO PARV	A.R. en %	7.9	7.9	8.6
	s	(3.1)	(2.7)	(3.0)

Station 938108		Nombre de valves comptées		
		500	1000	1500
E EXIG	A.R. en %	98.8	98.2	98.4
	s	(0.8)	(0.9)	(1.0)

Tableau 62.- Evolution du pourcentage d'abondance relative (A.R.) après comptage de 500, 1000 ou 1500 valves dans une même préparation. Seuls le ou les taxons principaux sont considérés (écart type entre parenthèses).

5.1.3.2. Homogénéité des préparations et des prélèvements

La reproductibilité des résultats des comptages a été testée dans 3 stations dont la composition des peuplements diffère sensiblement : station 93 (eau acide, un taxon dominant), station 31 (eau acide à légèrement acide) et station 91 (eau neutre) où plusieurs taxons sont codominants.

Les stations 91 et 93 ont un peuplement algal homogène, constitué d'un recouvrement uniforme, mince et gélatineux sur les pierres immergées.

La station 31 a été choisie intentionnellement car le recouvrement des pierres y est macroscopiquement hétérogène : certaines sont couvertes d'un épais dépôt de matières tourbeuses et de bactéries ferrugineuses, d'autres d'un mince enduit gélatineux. Dans ces conditions, il est difficile d'effectuer 3 échantillons équivalents, même en brossant des surfaces importantes.

Trois prélèvements ont été faits au même moment pour les 3 stations précitées, dans des conditions identiques (lithologie, courant, surface brossée). Dans chacun de ces prélèvements, 3 comptages de 500 individus ont été effectués dans des zones différentes d'une même préparation. Tous les taxons comptés figurent dans les tableaux 63 à 65 mais la distribution des plus rares est très irrégulière. Les résultats sont exprimés en abondance relative.

Les chiffres obtenus pour 3 comptages d'une même lame diffèrent très peu, montrant ainsi l'homogénéité des préparations.

L'estimation de la reproductibilité de l'échantillonnage est plus délicate. Nous l'avons testée, pour les taxons les plus abondants et pour quelques taxons rares de tailles différentes, par une analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA 1, modèle aléatoire) après vérification de l'égalité des variances par le test de HARTLEY. Nous avons ensuite calculé les intervalles de confiance pour les abondances relatives moyennes des taxons considérés (table de STUDENT, $\alpha = 0.05$). Les résultats de ces tests se trouvent dans les tableaux 63 à 65.

Pour les 3 stations, il n'y a pas de différence significative entre les variances au seuil $\alpha = 0.05$.

STATION 93

Résultat des comptages

Prélèvement	A			B			C		
Comptage	1	2	3	1	2	3	1	2	3
E EXIG	98.8	97.7	98.8	98.6	99.6	99.6	98.6	99.0	97.0
FRU R SA	0.4	0.8	0.6	0.2	-	0.2	0.6	-	0.4
E CURV	0.4	0.2	0.2	1.0	0.4	0.2	0.2	0.4	1.4
E PECT M	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
P MICR	0.2	0.4	-	0.2	-	-	0.2	0.2	0.2
A MINU	-	0.2	-	-	-	-	-	-	0.2
E RHOM	-	0.2	0.2	-	-	-	-	-	0.6
P BICE M	-	0.2	-	-	-	-	-	0.2	-
GO PARV	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-
E TRIN	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-
P HILS	-	-	0.2	-	-	-	0.2	0.2	-
E TENE	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-
Total de valves comptées	498	521	481	506	489	518	516	491	504

Egalité des variances (test de Hartley)

	m_A	m_B	m_C	S_A^2	S_B^2	S_C^2	H observé	H critique $\alpha = 0.05$	Conclusion
E EXIG	98.4	99.3	98.2	0.4	0.3	1.1	3.7	87.5	N.S.

Analyse de la variance (ANOVA 1, modèle aléatoire)

Intervalle de confiance (table de Student, $\alpha = 0.05$)

	SCE	ddl	CM	F observé	F critique $\alpha = 0.05$	F critique $\alpha = 0.01$	Conclusion	Intervalle de confiance
E EXIG	Totale : 5.6							
	Factorielle : 1.9	2	1.0	1.7	5.1	10.9	N.S.	$97.7 < m < 99.6$
	Résiduelle : 3.7	6	0.6					

Tableau 63.- : Reproductibilité des comptages et de l'échantillonnage (ANOVA 1) à la station 93. (S.C.E. : somme du carré des écarts; ddl : degré de liberté; C.M. : carré moyen; F : table de Snedecor; N.S. : non significatif).

Résultat des comptages

Prélèvement	A			B			C		
Comptage	1	2	3	1	2	3	1	2	3
A MINU	57.9	60.7	56.7	66.0	69.9	60.0	60.4	62.9	55.3
FRA CAP	18.8	15.8	20.3	15.3	11.6	11.4	18.0	14.9	19.8
FRA VA	3.8	3.6	2.7	5.5	3.7	4.6	3.8	3.7	5.0
SY ULN	3.8	3.4	3.6	1.0	1.7	2.9	4.4	3.7	4.4
CY MIN	2.8	4.3	3.6	1.3	1.5	2.7	1.4	3.3	2.5
DIA HI M	2.1	1.9	1.3	1.1	1.2	2.7	-	1.5	1.9
SU OVA	0.2	-	-	-	0.2	-	0.2	-	-
A BIOR	0.4	-	-	-	0.4	-	-	-	-
NA CRY	0.9	1.5	0.6	0.6	1.5	2.1	1.4	1.2	0.8
FRA VI	0.2	0.4	0.6	0.2	-	0.6	0.6	0.4	-
SU ROBA	1.1	0.9	1.0	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	1.1
GO CLEV	0.6	1.1	0.4	-	-	-	1.0	-	0.2
CY SINU	0.4	0.9	0.2	-	-	-	0.8	0.8	0.8
E CURV	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
GO PARV	2.1	1.9	3.3	3.6	3.3	6.2	1.4	1.2	2.7
E EXIG	0.2	0.4	0.8	0.2	0.2	0.8	0.8	0.4	1.0
NI ARCH	0.9	0.4	1.3	1.3	0.6	0.8	0.6	0.6	-
GO ANG	0.6	0.2	0.2	-	0.4	-	0.2	-	0.4
A LANC	0.4	0.4	-	-	-	0.2	-	0.2	0.2
NA RHYN	0.4	0.2	-	-	-	0.6	0.2	-	0.2
A LAPP	0.4	0.2	0.4	-	0.2	-	-	-	0.2
E RHOM	0.4	-	0.2	-	-	-	-	0.4	-
NI RECT	0.2	0.4	-	0.2	-	0.2	-	0.2	0.2
E PECT M	0.6	0.2	0.2	0.8	0.6	0.8	0.8	0.4	0.8
P HILS	0.2	-	-	0.2	-	0.4	-	-	-
E TRID P	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
HANN A	0.4	0.6	0.6	0.4	0.2	1.2	0.7	1.2	0.8
AN SER B	-	0.2	-	-	0.2	-	-	-	-
NA LANC	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-
MER CI	-	-	0.2	-	0.4	-	0.2	0.4	-
NA ANGU	-	-	0.6	-	-	0.4	-	-	-
A SAXO	-	-	0.2	-	0.2	-	0.2	0.4	-
FRU R SA	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-
CY NAVI	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-
A MARC	-	-	-	1.3	0.4	1.2	1.0	0.4	1.1
NA TRID	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-
DIA ANC	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-
FRU VU	-	-	-	-	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4
TAB FLO	-	-	-	-	0.2	-	-	0.2	0.4
NA COCC	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-
FRA RUM	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-
AN VIT	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-
E PRAE	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-
E TENE	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-
Total de valves comptées	527	468	478	524	482	483	505	482	524

Egalité des variances (test de Hartley)

	m_A	m_B	m_C	s_A^2	s_B^2	s_C^2	H observé	H critique α=0.05	
A MINU	58.4	65.3	59.5	4.2	24.0	15	5.9	87.5	NS
FRA CAP	18.3	12.8	17.6	5.2	4.8	6.1	1.3		NS
SY ULN	3.6	1.9	4.2	0.04	0.9	0.2	22.5		NS
GO PARV	2.4	4.4	1.8	0.6	2.5	0.7	4.2		NS
DIA HI M	1.8	1.7	1.1	0.2	0.8	1.0	5.0		NS
FRA VA	3.4	4.6	4.2	0.3	0.8	0.5	2.7		NS

Analyse de la variance (ANOVA 1, modèle aléatoire)

Intervalle de confiance (table de Student, α = 0.05)

	SCE		ddl	CM	F observé	F critique α=0.05	F critique α=0.01		Intervalle de confiance
A MINU	Totale	169.8				5.1	10.9	NS	54.8<m<67.3
	Factorielle	81.6	2	40.8	2.8				
	Résiduelle	88.2	6	14.7					
FRA CAP	Totale	86.6						NS	11.2<m<21.3
	Factorielle	54.2	2	27.1	5.0				
	Résiduelle	32.4	6	5.4					
SY ULN	Totale	10.9						S	1.2<m<1.3
	Factorielle	8.6	2	4.3	10.8				
	Résiduelle	2.3	6	0.4					
GO PARV	Totale	18.5						NS	0.6<m<5.1
	Factorielle	10.9	2	5.5	4.2				
	Résiduelle	7.6	6	1.3					
DIA HI M	Totale	4.7						NS	0.9<m<2.1
	Factorielle	0.8	2	0.4	0.6				
	Résiduelle	3.9	6	0.7					
FRA VA	Totale	5.7						NS	2.9<m<5.1
	Factorielle	2.4	2	1.2	2.0				
	Résiduelle	3.3	6	0.6					

Tableau 64.- Reproductibilité des comptages et de l'échantillonnage (ANOVA 1) à la station 91 (S.C.E. : somme du carré des écarts; ddl : degré de liberté; C.M. : carré moyen; F : table de Snedecor; N.S. : non significatif; S : significatif).

Résultat des comptages

Prélèvement	A			B			C		
Comptage	1	2	3	1	2	3	1	2	3
E EXIG	53.1	54.5	54.4	56.8	55.1	53.8	45.6	51.8	45.9
A MINU	8.8	8.0	8.8	5.1	8.8	8.0	6.4	6.3	9.3
GO PARV	7.9	8.0	9.9	13.9	10.0	10.8	8.2	9.2	7.8
AN VIT	2.6	1.7	1.4	1.3	2.3	3.1	8.0	7.8	3.4
FRA CAP	15.8	16.8	14.2	8.6	12.8	13.7	17.2	16.1	20.6
P SUBC	0.7	1.9	0.2	0.6	0.2	0.4	1.0	1.4	0.9
TAB FLO	1.3	1.5	1.9	1.1	1.0	0.2	1.4	1.4	1.0
SU ROBA	1.3	0.9	1.4	3.0	1.7	2.0	1.0	0.2	2.5
FRU R SA	1.1	1.9	1.4	3.4	3.3	2.2	3.0	1.8	3.0
P APP I	0.7	-	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4	0.4	-
GO GRAC	0.2	-	0.2	-	-	-	-	-	0.2
E PECT M	1.5	1.1	1.4	1.3	0.8	0.4	0.6	1.0	0.4
A SAXO	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.8	-	0.2
FRA VI	0.9	0.2	1.4	0.6	1.0	2.2	1.8	1.0	0.8
AN SER B	1.1	0.7	0.2	0.2	0.4	0.2	1.6	0.8	2.1
A AUST H	0.4	0.2	-	0.6	0.4	0.6	-	-	-
E RHOM	0.7	0.4	0.8	0.8	0.4	-	1.0	-	-
A LAPP	0.7	0.4	0.4	-	-	-	0.4	-	-
MER CI C	0.2	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	1.6	0.2	1.1
E TENE	0.4	0.4	-	-	-	0.2	-	-	0.2
E CURV	0.2	0.4	0.4	1.1	0.2	0.2	-	-	-
E SEPT	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-
SU DELI	-	-	0.2	-	-	-	-	0.2	-
NA ANGU	-	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	0.2	-
CY MIN	-	-	-	0.2	0.4	-	-	0.2	0.2
E TRIN	-	-	-	-	-	0.2	-	-	0.2
E TRID P	-	-	-	-	-	0.2	-	-	0.2
A LANC	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-
A AUST	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-
Total de valves comptées	457	535	513	474	522	489	499	490	529

Egalité des variances (test de Hartley)

	m_A	m_B	m_C	S_A^2	S_B^2	S_C^2	H observé	H critique α=0.05	
E EXIG	54.0	55.2	47.8	0.6	2.3	12.3	20.5	87.5	NS
FRA CAP	15.6	11.7	18.0	1.7	7.4	5.5	4.4		NS
FRU R SA	1.5	3.0	2.6	0.2	0.4	0.5	2.5		NS
A MINU	8.5	7.3	7.3	0.2	3.8	2.9	19.0		NS
GO PARV	8.6	11.6	8.4	1.3	4.2	0.5	8.4		NS
TAB FLO	1.6	0.8	1.3	0.9	0.2	0.1	9.0		NS

Analyse de la variance (ANOVA 1, modèle aléatoire)

Intervalle de confiance (table de Student, α = 0.05)

	SCE		ddl	CM	F observé	F critique α=0.05	F critique α=0.01		Intervalle de confiance
E EXIG	Totale	126.3				5.1	10.9	S	$45.6 < m < 59.0$
	Factorielle	96.1	2	48.1	9.6				
	Résiduelle	30.2	6	5.9					
FRA CAP	Totale	89.4						S	$9.8 < m < 20.4$
	Factorielle	60.1	2	30.1	6.1				
	Résiduelle	29.3	6	4.9					
FRU R SA	Totale	5.8						NS	$1.0 < m < 3.6$
	Factorielle	3.6	2	1.8	4.5				
	Résiduelle	2.2	6	0.4					
A MINU	Totale	16.8						NS	$6.6 < m < 8.8$
	Factorielle	2.3	2	1.2	0.5				
	Résiduelle	13.8	6	2.3					
GO PARV	Totale	30.9						NS	$6.5 < m < 12.5$
	Factorielle	18.9	2	9.5	4.8				
	Résiduelle	12.1	6	2.0					
TAB FLO	Totale	1.7						NS	$0.5 < m < 1.9$
	Factorielle	1.0	2	0.5	5				
	Résiduelle	0.7	6	0.1					

Tableau 65.- Reproductibilité des comptages et de l'échantillonnage (ANOVA 1) à la station 31 (S.C.E. : somme du carré des écarts; ddl : degré de liberté; C.M. : carré moyen; F : table de Snedecor; N.S. : non significatif; S : significatif).

Pour les analyses de la variance, les résultats sont plus variables. On considère habituellement que les différences entre les moyennes ne sont pas significatives (NS) quand il n'y a pas rejet de l'hypothèse H_o ($m_1 = m_2 = \ldots$) pour un seuil $\alpha = 0.05$. Par contre, les moyennes sont significativement différentes (S) s'il y a rejet de H_o pour $\alpha = 0.05$ et non rejet pour $\alpha = 0.01$. Enfin, les différences sont très significatives (SS) s'il y a rejet de H_o pour $\alpha = 0.01$.

En appliquant ces règles, on voit que, pour les stations 93 et 91 (tableaux 63 et 64), les différents échantillonnages peuvent être considérés comme équivalents. Seul SY ULN, grande espèce formant des colonies, a sans doute une dispersion plus irrégulière : elle peut notamment être abondante sur des algues macroscopiques filamenteuses dont les peuplements sont plus irrégulièrement répartis et qui sont prélevées en même temps que les diatomées épilithiques.

Pour la station 31 (tableau 65), des différences significatives sont observées pour les 2 taxons principaux bien que les écarts (7.4 % pour E EXIG, 6.3 % pour FRA CAP) soient du même ordre de grandeur qu'à la station 91 (6.9 % pour A MINU, 5.5 % pour FRA CAP). Cette divergence dans les conclusions du test est due à la très faible variance pour les 3 comptages d'un même échantillon dans la station 31. Notons que 2 des 3 comptages à cette station sont très proches.

L'intervalle de confiance ($\bar{X} \pm T_{1-\alpha/2}\sqrt{\frac{CM_F}{N}}$ où N = nombre total de mesures et CM_F = carré moyen factoriel; $\alpha = 0.05$) est évidemment très faible pour un taxon très abondant (2 % dans la station 93). Il est de l'ordre de 10 % pour un taxon ayant de 40 à 60 % d'abondance relative. Il peut être proportionnellement plus important pour des taxons en dessous de 20 % (par ex. FRA CAP dans les stations 31 et 91).

En conclusion, les écarts observés entre les abondances relatives pour différents comptages dans une même lame sont généralement très faibles.

Des différences plus importantes, et quelquefois significatives au seuil $\alpha = 0.05$, peuvent exister entre plusieurs échantillons pris sur des pierres différentes quand le recouvrement de ces pierres est manifestement hétérogène comme à la station 31 par exemple, mais ces cas particuliers sont heureusement très rares : une plus grande prudence s'impose alors au

moment du prélèvement. Dans les autres cas, les tests n'ont pas pu montrer d'hétérogénéité dans l'échantillonnage.

Les intervalles de confiance sont très faibles à faibles pour des abondances relatives importantes, plus grands pour les taxons moins abondants. Nous pensons que cette variabilité reste comprise dans des limites raisonnables pour des relevés d'organismes microscopiques, et nous prouvons que la surface de prélèvement choisie est suffisante. Sur des surfaces plus faibles, les risques d'hétérogénéité, liée à la présence d'espèces coloniales irrégulièrement dispersées, à l'orientation des différentes faces des pierres par rapport au courant et à la micro-hétérogénéité de leur surface augmentent considérablement, mais l'étude fine de ce problème reste à faire.

TAXONS	Prélèvement 1			Prélèvement 2			Prélèvement 3		
	Lame 1	Lame 2	Lame 3	Lame 1	Lame 2	Lame 3	Lame 1	Lame 2	Lame 3
A MINU	54.0	57.5	53.3	37.9	38.9	37.8	43.2	44.0	43.0
FRA CAP	31.2	33.1	34.1	42.7	46.0	42.5	38.0	39.0	38.2
E EXIG	3.3	2.8	2.7	5.4	4.4	6.1	4.2	4.6	6.4
GO PARV	2.8	1.4	2.7	3.8	4.4	3.5	3.1	3.0	1.2
HANN A	1.6	1.0	2.3	2.9	1.7	2.4	2.8	1.4	2.6
TAB FLO	1.0	1.0	0.8	1.0	0.8	1.6	0.8	0.6	0.6
FRA VI	0.9	0.0	0.0	1.1	1.0	0.2	1.2	0.0	0.4
FRU R SA	0.7	0.7	0.4	0.5	0.2	0.4	0.9	1.4	0.4
SU ROBA	0.6	0.2	1.0	0.7	0.8	0.6	2.1	1.6	1.6
E PECT M	0.5	0.4	1.0	0.4	0.4	0.6	0.5	1.0	1.6
DIA HI M	0.4	0.2	0.0	0.3	0.2	0.4	0.1	0.0	0.6
P HILS	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6	0.4
NA ANGU	0.3	0.2	0.0	0.8	0.2	1.0	0.5	0.8	1.4
E TRID P	0.1	0.4	0.0	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.0
AUTRES	2.3	0.9	1.7	2.3	0.6	2.3	2.1	1.8	1.6

Tableau 66.- Comparaison des comptages effectués dans 3 lames montées à partir d'un même prélèvement, pour 3 stations différentes.

5.1.3.3. Montage des préparations

A partir de prélèvements provenant de 3 stations différentes, 3 lames ont été montées et un comptage de 500 valves a été réalisé pour chaque lame. Les chiffres très stables pour un même prélèvement montrent l'homogénéité de la suspension aqueuse de diatomées et de la répartition des valves sur la lame, après séchage (tableau 66).

5.1.4. Conclusions

Nos méthodes d'échantillonnage, de montage de la préparation, d'élaboration de la liste floristique et de comptage ont été testées et s'avèrent fiables pour une étude floristique et écologique.

D'un point de vue qualitatif, l'examen d'une préparation en 3 temps (balayage au 50X, comptage, balayage au 50X puis au 20X du reste de la préparation) constitue un bon compromis pour obtenir en un temps raisonnable, une liste floristique très complète. Cependant, cette liste doit être complétée par d'autres prélèvements à différents moments de l'année en raison des variations saisonnières, parfois importantes, des peuplements. Nous avons ainsi montré qu'il faut au moins 20 prélèvements pour établir une liste floristique représentative d'une station.

Du point de vue semi-quantitatif, le comptage proprement dit est un estimateur très important de la qualité de l'eau et doit être réalisé dans les meilleures conditions. A cet égard, nous avons montré qu'un comptage de 500 valves est suffisant, les variations de l'abondance relative étant négligeables au-delà de ce nombre.

La surface de prélèvement adoptée (400 cm^2) s'avère suffisante si l'on veut disposer d'un échantillon représentatif et comparable entre stations. Les analyses de la variance ne montrent des différences significatives que pour la station où le recouvrement des pierres est macroscopiquement hétérogène. On peut alors prévoir le risque d'une variabilité plus importante et prélever en conséquence.

Compte tenu de ces résultats, tous les échantillons considérés dans ce travail ont été réalisés et examinés suivant la même méthode : une lame à partir d'un échantillon pour chaque station, à différents moments de l'année; à partir de cette lame, une liste floristique la plus complète possible et un comptage de 500 valves.

5.1.5. Traitement des données relatives aux comptages de diatomées

Deux techniques d'analyse multivariée ont été utilisées sur les résultats bruts des comptages: le cluster analysis (Clustan, WISHART, 1978) et l'analyse en composantes principales (MLAB, KNOTT, 1979). Ces deux approches complémentaires présentent un intérêt particulier quand on les utilise conjointement (DEPIEREUX et al., 1983).

Le cluster analysis réalise des regroupements de relevés ou d'espèces ayant un profil semblable, mais ne permet pas d'établir des relations écologiques entre ces groupes. L'analyse en composantes principales , par contre, si elle laisse plus diffuse la notion de groupes, en se limitant à un nombre restreint de dimensions, aura pour but de mettre en évidence les relations entre les différents relevés, afin de les classer le long d'un continuum par exemple.

La méthode de cluster analysis utilisée ici est celle de WARD; c'est une technique classique de fusion hiérarchique basée sur la mesure des distances euclidiennes et recommandée dans le traitement des données biologiques notamment par ORLOCI (1967). Dans la matrice de données, les relevés et les taxons sont successivement considérés comme les objets à regrouper. Les relevés sont classés sur base de leur composition en taxon et les taxons, sur base de leur répartition dans les différents relevés. L'analyse des données brutes n'est généralement pas interprétable en raison de leur distribution particulière (DEPIEREUX, 1982). Toutes les analyses seront réalisées sur le logarithme de l'abondance (ln x+1) afin de compenser la relation moyenne-écart type caractérisant ce type de données. Ensuite, les données peuvent être standardisées c'est à dire exprimées sous forme d'écart à la moyenne en unité écart type. Cela aura pour effet de donner un même poids dans l'analyse soit à chaque relevé, soit à chaque variable, suivant le sens dans lequel s'effectue la standardisation. Pour le cluster analysis, le regroupement des relevés ne requiert pas de standardisation (nombre total de 500 valves pour chaque relevé). Par contre, une standardisation est importante pour regrouper les taxons, en raison de la grande différence d'abondance que chacun présente.

Le but de l'analyse en composantes principales, dans le cadre de notre approche, est de reclasser les relevés et les taxons suivant un ordre particulier correspondant à des modifications progressives de facteurs écologiques. Des études relatives à ce type d'approche montrent que l'on observe l'apparition d'un axe curvilinéaire dans le plan des deux premiers axes d'une analyse

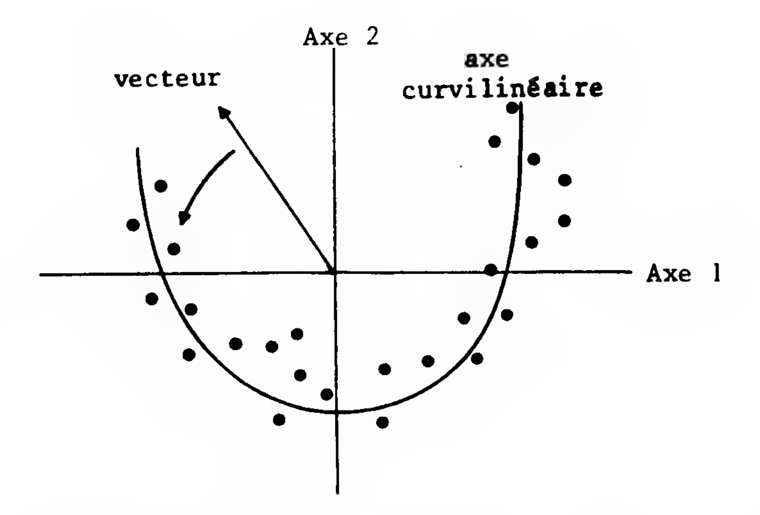


Figure 38.- Représentation imagée de la détermination de l'ordre des points le long de l'axe curvilinéaire, par balayage du plan des deux premiers axes par un vecteur mobile.

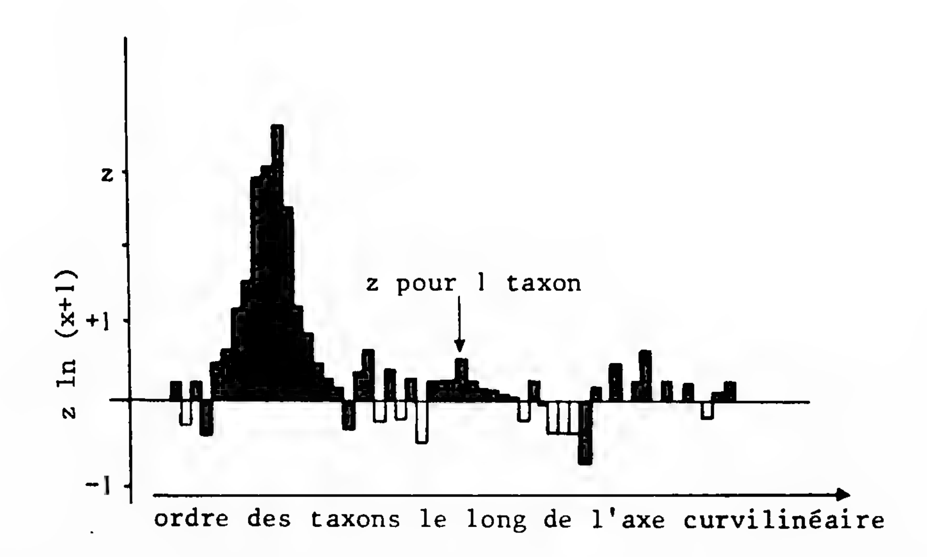


Figure 39.- Histogramme des valeurs de z pour les taxons pris dans l'ordre déterminé par l'analyse en composantes principales (figure 38). Rectangles noircis pour les taxons présents, avec une abondance relative supérieure (z positif) ou inférieure (z négatif) à la moyenne; rectangles blancs pour les taxons absents (autres z négatifs).

en composantes principales (DEPIEREUX et al., 1983 et DEPIEREUX, 1984 à paraître) ou d'une analyse des correspondances (VERNEAUX, 1973; DESCY, 1976; LECLERCQ, 1977; FABRI, 1977).

Nous avons appliqué une méthode d'interprétation de l'analyse en composantes principales proposée par DEPIEREUX et al. (1983) qui consiste à reclasser les taxons et les relevés en fonction de leur succession dans le plan des deux premiers axes, suivant leur ordre d'apparition le long de cet axe curvilinéaire. Le classement des points se fait automatiquement en fonction de la valeur de l'angle formé par le premier axe et un vecteur joignant le point à l'origine des axes. De façon imagée (figure 38), cela revient à balayer le plan en effectuant une rotation de ce vecteur, et à classer ainsi soit les taxons soit les stations suivant leur séquence le long de la structure curvilinéaire. Les lignes et les colonnes du tableau de valeurs brutes sont alors reclassées suivant l'ordre établi.

L'efficacité de ce système dépend, d'une part de la position et de la forme de l'axe curvilinéaire très variable d'une analyse à l'autre, et d'autre part, du nombre d'observations éloignées de cet axe, par exemple, groupées au centre de la figure et qui risquent alors d'apparaître de façon désordonnée dans le tableau. On sait, du reste, que les éléments centraux occupent cette position souvent en raison de leur présence équivalente dans tous les relevés et offrent donc moins d'intérêt comme éléments différentiels. Le tableau reclassé devra donc être parfois remanié, mais ce système réduit considérablement le temps de dépouillement de l'analyse et permet de travailler directement sur les résultats bruts lors de l'interprétation.

Une représentation des données originales peut être obtenue sous forme d'histogrammes, chacun donnant, pour chaque station, l'écart à la moyenne réduit (z) de chaque taxon pris dans l'ordre du tableau reclassé par l'analyse en composantes principales (figure 39). Le sommet de l'histogramme se déplace progressivement de gauche à droite quand on considère les stations dans leur ordre le long de l'axe curvilinéaire; l'histogramme constitue une représentation globale, un profil des taxons présents dans chaque station. Sur ces profils, un taxon absent dans une station et présent dans les autres, apparaît avec une valeur de z négative, tout comme un taxon dont le nombre compté est inférieur au nombre moyen pour toutes les stations considérées. Pour distinguer ces deux cas, nous avons choisi de noircir, sur l'histogramme, les rectangles correspondant aux taxons présents en laissant en blanc, ceux des taxons absents, ce qui visualise en même temps la composition en taxons et la richesse floristique

pour chaque station. Notons encore qu'un taxon particulier, présent à quelques pourcents dans une station, aura une valeur de z élevée qui apparaîtra sous forme d'un grand rectangle parfois peu interprétable du point de vue écologique. Mais le choix de z plutôt que des valeurs brutes en pourcents, tout en facilitant le tracé graphique, peut aussi faire ressortir des taxons plus rares mais discriminants.

A l'issue de l'analyse en composantes principales, on obtient donc un classement de stations et de taxons le long d'un axe curvilinéaire, suivant un continuum qui correspond ici à un gradient écologique. Pour synthétiser les résultats obtenus d'une part par les regroupements (cluster analysis) et le classement suivant un continuum (analyse en composantes principales), nous présentons les résultats sous la forme d'un dendrogramme remanié de façon à suivre le plus près possible le classement issu des composantes principales. Il est important de noter que le remaniement du dendrogramme ne modifie en rien le contenu de chaque cluster mais seulement leur ordre.

Les deux types d'analyses que nous venons de décrire ont été effectués en nous limitant aux taxons comptés au moins une fois dans une des stations considérées, laissant de côté les nombreux taxons occasionnels. On obtient ainsi des ordinations et des tableaux plus clairs et plus aisément interprétables.

La figure 49 établie à partir des données de présence-absence permet de distinguer, parmi les taxons rares et très rares, ceux qui ont une distribution particulière par rapport au classement des taxons principaux obtenu par les analyses multivariées.

5.2. Synthèse floristique

5.2.1. Considérations générales sur la richesse floristique des peuplements de diatomées pour les différents types d'eau.

Pour les 430 prélèvements, répartis en 72 stations appartenant aux différents types chimiques décrits plus haut, 357 taxons ont été identifiés, parmi lesquels :

- trois sont nouvellement décrits (LECLERCQ, 1983) : *Achnanthes rechtensis* Leclercq, *Surirella roba* Leclercq et *S. celtica* Germain var. *constricta* Leclercq;
- 31 sont nouveaux pour la Belgique et 57 nouveaux pour l'Ardenne : la liste en est donnée dans le fascicule annexe.

Pour compléter cet inventaire, il convient d'ajouter 12 taxons spécifiquement calciphiles dont 5 nouveaux pour la Belgique et 5 pour l'Ardenne : *Achnanthes flexella, Caloneis schroederi, Cocconeis disculus, C. pediculus, Cymatopleura librile, Fragilaria leptostauron* var. *dubia, Gomphonema angustatum* var. *sarcophagus, Gyrosigma scalproides, Navicula reinhardtii, Nitzschia commutata, N. tryblionella* var. *debilis, Opephora martyi*, qui n'ont été récoltés que dans des rivières coulant sur des roches calcaires isolées en Ardenne et appartenant à des formations géologiques particulières : stations 79 et 161 sur le poudingue de Malmédy (Permien) et station 151 sur des roches du Dévonien moyen et supérieur et du Carbonifère, au niveau de la fenêtre de Theux. Dans le fascicule annexe (FABRI & LECLERCQ, 1984), nous présentons des photographies et des dessins originaux pour 287 de ces taxons et nous en donnons la liste complète (chapitre 5.1.)

Ce nombre de taxons est important, malgré l'oligotrophie des eaux étudiées. Il résulte d'une observation poussée de chaque échantillon. A titre de comparaison, rappelons que la liste complète, regroupant nos observations et celles de FABRI (1984) sur les eaux polluées de la même région, comprend 412 taxons. Ce nombre est très élevé par rapport aux listes de 277 taxons (SYMOENS, 1960) et de 447 taxons (DESCY, 1983) dressées pour un territoire beaucoup plus vaste, couvrant l'ensemble de l'Ardenne et les régions voisines et présentant, de toute évidence, une plus grande variété dans la chimie des eaux. PIERRE (1969) dénombre 354 taxons rien que dans la Meurthe, mais cette liste inclut des espèces halophiles (sources salées). DESCY (1976b) cite 205 taxons après un prélèvement dans 11 stations de la Somme contre 150 pour la Meuse et la Sambre réunies. Citons encore pour des rivières oligotrophes de haute Ardenne et d'Ardenne 145 taxons dans la Helle et la Roer supérieure (LECLERCQ, 1977), 246 taxons dans la Schwalm supérieure (LECLERCQ & FABRI, 1982), 127 taxons pour le ry Colas et une station dans l'Aisne (CONRAD, 1942).

Après un prélèvement, le nombre maximum de 127 taxons a été obtenu à la station 119 en novembre 1978. Pour les stations 119 et 121, on atteint 209 et 208 taxons après respectivement 17 et 23 prélèvements : ces nombres maximums correspondent à des eaux de type intermédiaire, acides pendant l'hiver et tendant vers la neutralité pendant l'été, ces conditions étant favorables à un plus grand nombre de taxons. PIERRE obtient 190 taxons après 6 prélèvements (1969) et 228 après 16 prélèvements (1968) dans 2 stations de la Meurthe, mais les eaux y sont très minéralisées et eutrophisées.

Toutes nos stations n'ayant pas été prospectées le même nombre de fois, il est difficile de donner un nombre moyen comparable de taxons dans les différents types d'eaux. Le graphique de la figure 37 permet cependant de faire une estimation du nombre de taxons que l'on est susceptible de rencontrer après 23 prélèvements. On obtient alors les chiffres suivants :

- eaux strictement acides, dystrophes (pH en classe 1) : 50-100 taxons
- eaux acides dont le pH (en classe 2) et l'alcalinité augmentent légèrement en été : 100-150 taxons
- eaux légèrement acides (pH en classe 3) : 140-220 taxons
- eaux neutres (pH en classe 4) : 200-250 taxons
- eaux calcaires (pH basique) (stations 79-151-161) : 150-240 taxons

Nos chiffres confirment les observations de SYMOENS (1957) qui souligne également la grande richesse floristique de l' association d'eau vive à *Diatoma hiemale* et *Meridion circulare* (KURZ, 1922) DENIS 1924 par rapport à l' association d'Algues d'eau vive à *Diatoma vulgare* et *Melosira varians* SYMOENS 1954 et à l' association des eaux courantes de tourbières à *Eunotia exigua* et *Pinnularia subcapitata* SYMOENS .

PATRICK (1963) dénombre 70 espèces dans des eaux acides riches en acides humiques, 145 à 188 espèces après plusieurs prélèvements dans des eaux de faible dureté, et signale aussi que le nombre d'espèces est souvent moindre dans les eaux naturelles dures.

Malgré l'oligotrophie des eaux du nord du massif Ardennais, la richesse floristique des peuplements de diatomées est donc considérable. Elle est particulièrement élevée dans des eaux dont le pH est faible en hiver et au printemps et augmente pendant l'été.

Les noms corrects des 412 taxons déterminés, avec leurs patronymes et leurs numéros d'ordre, se trouvent dans le fascicule annexe (chapitre 5.1.).

Genres	Nombre de taxons	Genres	Nombre de taxons
Navicula	62	*Diploneis*	3
Pinnularia	53	*Rhopalodia*	3
Eunotia	37	*Stephanodiscus*	3
Achnanthes	21	*Cyclotella*	2
Nitzschia	21	*Epithemia*	2
Cymbella	19	*Hannaea*	2
Fragilaria	17	*Hantzschia*	2
Stauroneis	15	*Meridion*	2
Gomphonema	14	*Tabellaria*	2
Neidium	14	*Actinoptychus*	1
Surirella	13	*Amphipleura*	1
Synedra	10	*Amphiprora*	1
Frustulia	8	*Asterionella*	1
Diatoma	6	*Cocconeis*	1
Amphora	4	*Denticula*	1
Anomoeoneis	4	*Peronia*	1
Caloneis	4	*Rhoicosphenia*	1
Melosira	4	*Stenopterobia*	1
		Stephanopyxis	1

Tableau 67.- Nombre de taxons dans les différents genres observés.

TAXONS	Nbr. de valves comptées	Abondance relative en %		
E EXIG	96700	44.8		
A MINU	44700	20.7	74.2	
FRA CAP	18700	8.7		
GO PARV	6000	2.8		
E RHOM	4600	2.1		
SU ROBA	3800	1.8		
CY SINU	3700	1.7		
A AUST H	3400	1.6		
DIA HI M	2700	1.3		
TAB FLO	2600	1.2		
FRA VA	2400	1.1		94.5
E CURV	2300	1.1		
AN SER B	2000	1.9		
HANN A	2000	0.9		
E PECT M	1700	0.8		
FRA VI	1500	0.7		
A SAXO	1500	0.7		
AN VIT	1200	0.6		
NI ARCH	1100	0.5		
P HILS	1000	0.5		
338 taxons restants	12400	5.5		
Total	216000			

Tableau 68.- Nombre de valves comptées par taxon dans les 432 échantillons (total de 500 valves comptées par échantillon).

Les taxons observés se répartissent en 37 genres. Les genres *Navicula*, *Pinnularia* et *Eunotia* sont les mieux représentés avec respectivement 62, 53 et 37 taxons (tableau 67). Le genre *Nitzchia* compte 21 taxons dont certains, réputés saprophiles, sont parfois notés en faible quantité dans des eaux présumées naturelles, ce qui peut indiquer le caractère fragmentaire des données écologiques pour certains d'entre eux, mais aussi la difficulté de trouver des peuplements encore strictement naturels, même dans une région peu peuplée. D'autre part, nous considérons comme normale la présence d'individus isolés de taxons saprophiles dans des eaux strictement naturelles.

5.2.2. Composition des peuplements de diatomées

Du point de vue quantitatif, la composition des peuplements est toujours très déséquilibrée et l'indice de diversité (LLOYD, ZAR & KARR, 1968) très faible (0.3 à 4.0), même si, après un examen poussé, la liste floristique compte de nombreux taxons.

En effet, dans les eaux acides, un taxon est généralement dominant (jusqu'à 99 % d'abondance relative !); dans les eaux neutres, 2 ou 3 taxons sont le plus souvent codominants (70 à 90 % d'abondance relative au total) le pourcentage restant étant distribué entre les nombreux autres taxons.

Une estimation du nombre de valves comptées pour chaque taxon sur les 432 comptages de 500 valves (soit environ 216000 valves) est donné dans le tableau 68.

E EXIG apparaît comme le taxon le plus répandu, indiquant ainsi l'oligotrophie générale des eaux et leur acidité dans une partie du territoire.
A MINU peuple préférentiellement les eaux neutres à légèrement acides mais peut se développer dans des eaux habituellement plus acides dont le pH augmente dans des conditions exceptionnelles d'étiage, ce qui explique sa deuxième place dans le tableau. FRA CAP qui semble plus strictement limité aux eaux neutres, comme nous le montrerons plus loin, occupe la troisième place, loin derrière les deux premiers taxons. Tous les autres taxons sont peu représentés.

Année	1976			1977								1978									
Mois	03	06	10	4	5	6	7	8	9	10	11	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nb moyen de taxons	52	51	43	46	52	53	47	50	56	62	46	48	49	57	53	53	59	54	69	67	66

Tableau 69.- Nombres moyens de taxons calculés à partir des prélèvements mensuels dans 12 stations appartenant à différents types chimiques.

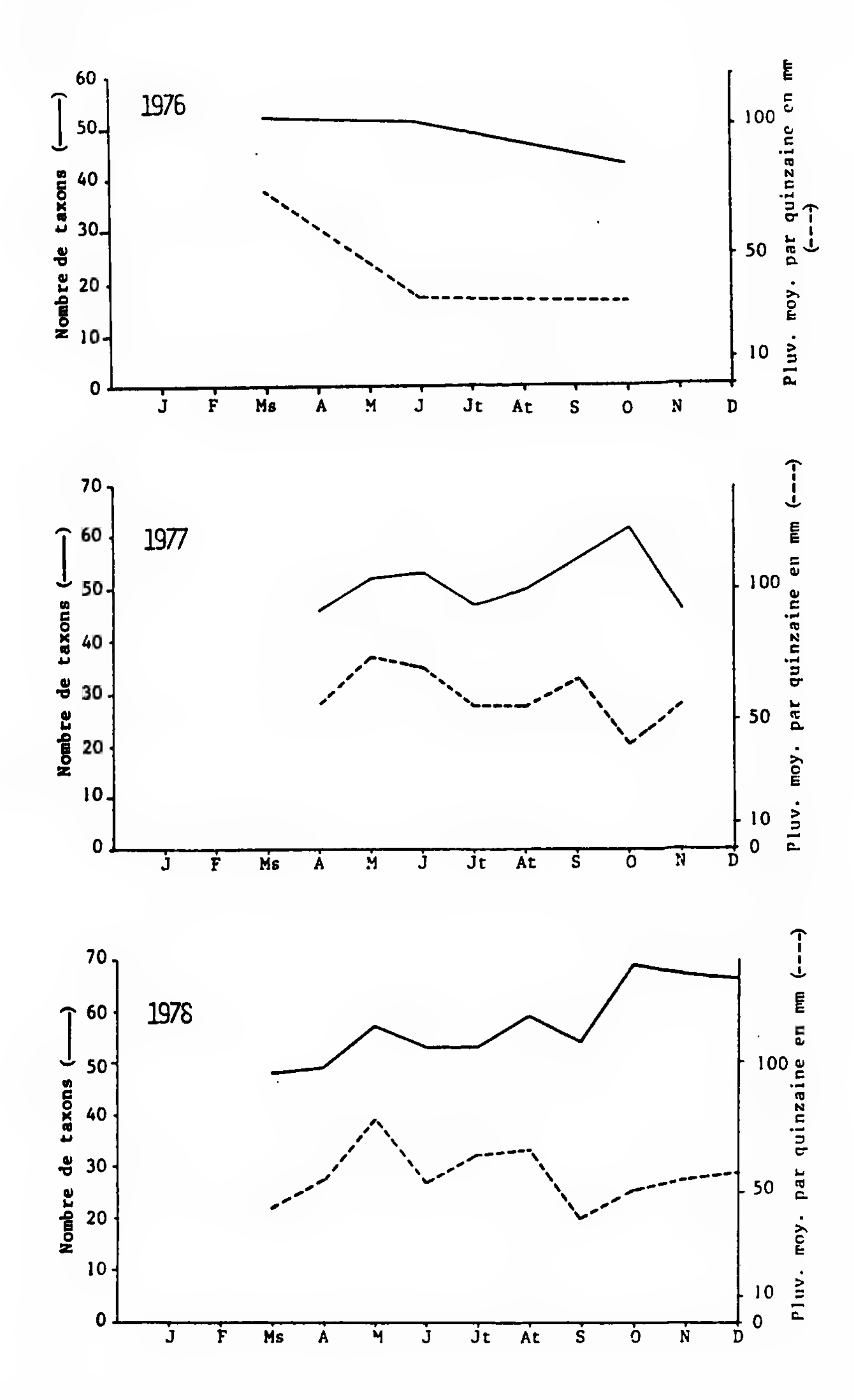


Figure 40.- Comparaison entre l'évolution des nombres moyens mensuels de taxons (tableau 69) et la pluviosité moyenne par quinzaine calculée pendant les 4 mois précédant les prélèvements en 1976 et les 2 mois en 1977 et 1978 : voir tableau 3.

5.2.3. Variations saisonnières de la richesse floristique

Les variations saisonnières du nombre de taxons par prélèvement et par station sont difficilement interprétables si l'on travaille station par station. Il est préférable de calculer un nombre moyen de taxons à différentes périodes de l'année, pour les stations de différents types régulièrement suivies de 1976 à 1979, à savoir les stations 9, 31, 39, 43, 47, 63, 91, 119, 121, 130, 252, 253 (tableau 69 et figure 40). Pour les 3 années, les nombres de taxons sont à peu près semblables au début de l'année (51, 46, 49 pour mars 76 et avril 77, 78).

En 1976, ce nombre commence à diminuer en juin et est minimum en octobre, c'est-à-dire pendant une période d'étiage exceptionnelle résultant d'une période de sécheresse dès le mois de juin. Pour tenter d'expliquer cette diminution, on peut évoquer le caractère kryophile, orophile et rhéophile d'un certain nombre de taxons qui seraient défavorisés par une température plus élevée que la normale et par des débits exceptionnellement bas dès le mois de juillet (chapitre 1.2.). A l'inverse, pour quelques stations, (38, 93, 150), le nombre de taxons a augmenté en octobre. Dans ces eaux, habituellement acides, le pH a augmenté et une faible alcalinité est apparue en relation avec des particularités géologiques exposées plus haut (présence de roches métamorphiques et de roches du Salmien), ce qui a créé de nouvelles conditions pour des taxons moins acidophiles et potentiellement présents (par exemple A MINU).

Pour 1977 et 1978, nous disposons de données mensuelles plus précises. Les courbes du nombre moyen de taxons, comparées aux courbes de pluviosité moyenne par quinzaine, sont étroitement parallèles ce qui confirme l'influence du débit et du courant sur la diversité : les nombres maximums observés (mai-juin et août-septembre-octobre) se présentent au moment où juste après des périodes de pluies plus importantes, compte-tenu du décalage entre les pluies et les crues résultantes. L'augmentation la plus forte au mois d'octobre coïncide cependant aussi avec des valeurs de pH et d'alcalinité plus élevées. Pendant la période hivernale (janvier à avril), la diversité atteint son niveau le plus bas (en relation avec une température très faible et une productivité primaire nulle), ce qui est en contradiction avec les résultats cités par PIERRE (1969), mais dans ce cas, la latitude et l'altitude sensiblement plus basses expliquent peut-être cette divergence, la période hivernale étant moins rigoureuse.

En conclusion, la variation du nombre de taxons au cours de l'année est difficile à interpréter pour chaque station isolément, mais le calcul d'un nombre moyen pour plusieurs stations met en évidence la relation entre l'évolution du nombre de taxons et les facteurs climatiques prépondérants (température et pluviosité), dont dépendent des facteurs physico-chimiques (pH, alcalinité) et des facteurs biologiques (productivité primaire).

On enregistre une augmentation du nombre de taxons pendant les périodes fraîches et pluvieuses (mai-juin et septembre-octobre) pendant lesquelles la productivité primaire est également la plus forte. Ces données situent bien les exigences écologiques des peuplements de diatomées du nord du massif Ardennais, adaptés aux conditions climatiques et édaphiques de cette région. L'optimum de développement et de richesse floristique se situe en effet aux périodes de transition entre les températures hivernales et estivales (mai-juin) et inversément (septembre-octobre). Par contre, pendant les périodes hivernales et estivales, le nombre de taxons diminue.

5.3. Etude typologique et écologique des peuplements de diatomées

5.3.1. Introduction

Quelques travaux d'algologie décrivent les groupements en utilisant la méthode sociologique de BRAUN-BLANQUET et sa terminologie (WASYLIK, 1965: p. ex. "*Diatometum hiemale - Meridionetum*"). Beaucoup d'auteurs cependant préfèrent la caractérisation par le nom de famille, de genre ou d'espèce du ou des taxons dominants (BUDDE, 1930 et 1942 : "*Achnantetum*"; FJERDINGSTAD, 1964: "association à *Chlorophyceae*"; BLUM, 1954 : "association à *Diatoma vulgare*"). D'autres encore utilisent le mot association pour indiquer qu'une espèce a été trouvée en codominance avec une autre (SALDEN, 1978). D'autre part, de nombreuses études sur les méthodes d'estimation de la qualité des eaux se soucient peu de la composition des peuplements naturels.

Ces différents systèmes conduisent à un grand nombre "d'associations" mal définies, aux dénominations hétérogènes et vagues. Il suffit, pour s'en convaincre, de consulter la liste donnée par JOHANSSON, KRONBORG & THOMASSON (1977) dans laquelle pas moins de 20 "communities" concernent les diatomées exclusivement ou, quelquefois, associées à l'une ou l'autre algue non siliceuse.

Différentes raisons peuvent être invoquées pour expliquer le retard des algologues sur les phanérogamistes : plus large distribution des organismes microscopiques, grand nombre d'espèces dans chaque échantillon, grande plasticité de ces groupements vis-à-vis des facteurs du milieu (facteurs climatiques régional et saisonnier, pollution) liée à la rapidité de la reproduction. De plus, les données de la littérature sont souvent difficiles à comparer (techniques de prélèvement et de comptages variées) ce qui rend aléatoire toute tentative de synthèse à une grande échelle.

Nous pensons qu'avec les données disponibles à l'heure actuelle, il est difficile d'arriver à un système de classification sociologique tel qu'il existe pour les communautés de plantes supérieures. Pour y arriver, il serait notamment indispensable de mettre au point une méthode uniformisée de prélèvements et de comptages.

Comme l'explique FABRI (1983), il est plus judicieux d'employer le terme "assemblage de diatomées" comme les palynologistes parlent d'assemblages de pollens.

Du point de vue phytosociologique, nous nous baserons sur l'ouvrage de SYMOENS (1957) qui cite, pour le territoire que nous avons étudié, 2 associations de diatomées :

- l'association d'algues d'eau vive à *Diatoma hiemale* et *Meridion circulare* KURZ (1922) DENIS (1924) (*Diatometo hiemalis - Meridionetum circularis*), dans les eaux neutres de "type ardennais";
- l'association des eaux courantes de tourbières à *Eunotia exigua* et *Pinnularia subcapitata* SYMOENS (*Eunotieto exiguae - Pinnularietum subcapitatae*), dans les eaux acides de "type fagnard".

Notre travail, limité au nord du massif ardennais, mais avec une densité importante des points de prélèvement, nous permet de préciser cette excellente synthèse réalisée sur un territoire plus vaste (l'Ardenne et les régions voisines).

Du point de vue écologique, les mêmes problèmes se posent. Très souvent, des divergences importantes existent d'après les auteurs, concernant le comportement des espèces vis-à-vis des facteurs du milieu, notamment de la pollution. Nombre de désaccords proviennent sans doute de conclusions hâtives à partir d'observations ponctuelles et qualitatives et du manque de données concernant des milieux variés dans de vastes régions. Dans cette optique, PIERRE (1969) commente le comportement de certaines diatomées vis-à-vis de la salinité en fonction de leur répartition géographique et fournit ainsi une explication possible des divergences de leur auto-écologie. Il constate en effet que la "limite supérieure de salinité supportée serait de plus en plus élevée lors du passage des zones nordiques vers les zones tropicales". D'autres confusions existent aussi entre le caractère kryophile de certaines espèces et le niveau de minéralisation des eaux: on peut ainsi observer *Diatoma hiemale* var. *mesodon* aussi bien dans les eaux calcaires des montagnes d'Iran que dans les eaux oligotrophes de haute Ardenne où elle prospère uniquement à la fin de l'hiver et au printemps.

Afin de préciser l'auto-écologie des diatomées, il serait important de mettre au point une présentation standardisée des résultats des comptages, exprimés en abondance relative et associés à des analyses physico-chimiques. En effet, des indications qualitatives comme celles qui figurent dans VAN DER WERFF & HULS (1957-1974), par exemple pour *Eunotia arcus* (pH : 6.0-8.5; Ca : 140- $>$ 500, Fe : 2.5-7.5, Si : 1.0-4.0 mg/l), n'ont qu'un intérêt limité sans indication d'abondance.

JOHANSSON (1982) propose un mode de représentation intéressant pour visualiser l'écologie de 26 taxons de diatomées (courbe d'abondance en fonction de 10 paramètres physico-chimiques, comparées à des courbes de référence donnant la répartition des valeurs de ces paramètres dans le tableau de données).

Dans le même ordre d'idée, nous avons tracé des spectres écologiques donnant, pour chaque taxon, l'abondance relative moyenne dans chaque classe des paramètres physico-chimiques principaux. Pour obtenir de bons résultats, cette méthode exposée dans le fascicule annexe (chapitre 5) nécessite cependant un grand nombre de prélèvements dans des milieux variés, tant naturels que pollués. C'est pourquoi ces spectres ont été tracés à partir de nos 430 échantillons d'eau propre et des 411 échantillons d'eaux polluées ou calcaires examinés par FABRI (1984). Ils doivent être comparés à des spectres de référence donnant la répartition des valeurs des paramètres dans les différentes classes.

5.3.2. Présentation des résultats

Les taxons les plus abondants sont consignés dans des tableaux indiquant le nombre de valves comptées pour un total de 500. Quelquefois, ces nombres sont transformés en abondance relative (chapitre 5.3.5.3.).

Pour comprendre la composition des peuplements diatomiques, nous avons, dans un premier temps, calculé des nombres moyens pour les 87 taxons intervenant pour plus de 1 % d'abondance relative moyenne dans une station au moins et ce, pour les 72 stations de référence sélectionnées sur base de la physicochimie (tableau 56). Ces nombres moyens sont calculés pour chaque station en fonction du nombre de prélèvements qui y ont été effectués et sont exprimés en nombre de valves pour un total de 500 valves. On travaille ainsi sur des résultats du même ordre de grandeur que ceux de chaque comptage et on évite les nombres décimaux très petits dans les tableaux.

Le calcul de nombres moyens présente l'avantage de minimiser l'effet des variations saisonnières qui créent, dans certaines stations, un continuum où l'on distingue difficilement des groupements caractéristiques. Parmi les 72 stations, quelques unes, prospectées une seule fois (35, 96, 168, 175, 153, 19, 169, 14, 189, 190, 188, 44, 191, 165), figurent dans le tableau à titre indicatif puisque, dans ce cas, les nombres ne sont pas des nombres moyens, mais les résultats bruts du comptage qui ont, pour cette raison, été mis entre parenthèses.

Ces nombres moyens, qui rassemblent donc les informations relatives à 430 prélèvements répartis sur 3 années, ont été soumis au clustering et à l'analyse en composantes principales (ACP).

A partir du classement obtenu par ces analyses, nous avons constitué un tableau moyen (tableau 71, hors texte) restreint aux 47 taxons principaux sur les 87, c'est-à-dire pour les 47 taxons dont l'abondance relative moyenne pour l'ensemble des 430 prélèvements est supérieure à 0.1 %. Les 2 dendrogrammes (72 stations, 87 taxons) sont associés à ce tableau que nous nommerons tableau écologique moyen. Pour plus de clarté, les mentions occasionnelles pour les 47 taxons en sont exclues. Elles figurent dans un tableau général de présence-absence (fascicule annexe, chapitre 5.4) et dans le tableau synthétique (tableau 49) établi à partir de notre corpus de données et qui nous aidera à compléter les différents groupements que nous décrirons à partir du tableau 71.

Notons, à propos des taxons rares et des présences-absences que les données cumulées aboutissent à une distribution très large pour un certain nombre de taxons, ce qui peut être expliqué entre autres par le caractère microscopique et unicellulaire des diatomées, rendant possible une multiplication rapide à partir d'apports exogènes diffus (transport par les animaux aquatiques, les oiseaux, le vent : WUTHRICH & MATTHEY, 1978). Ainsi, beaucoup de taxons sont potentiellement présents et peuvent se développer dès que les conditions deviennent favorables. Nous en avons plusieurs exemples, notamment dans les eaux acides de la Helle (st. 253 et 93) et du Spoorbach (st. 150) où A MINU a atteint une abondance relative de 40 % lors de la sécheresse d'octobre 1976 alors qu'il n'avait été observé que sporadiquement auparavant.

Il convient donc d'être très prudent quand on veut fournir une interprétation sur l'écologie de ces taxons rares qui peuvent survivre à l'état isolé, très loin de leurs conditions optimales. On trouve souvent, dans la littérature, des indications contradictoires qui ont parfois comme origine, de telles interprétations abusives.

Néanmoins, le nombre important de relevés répartis dans les différents types d'eau et l'examen floristique très approfondi nous permettent de tirer un maximum d'enseignements écologiques des distributions particulières de nombreux taxons occasionnels ou rarement comptés.

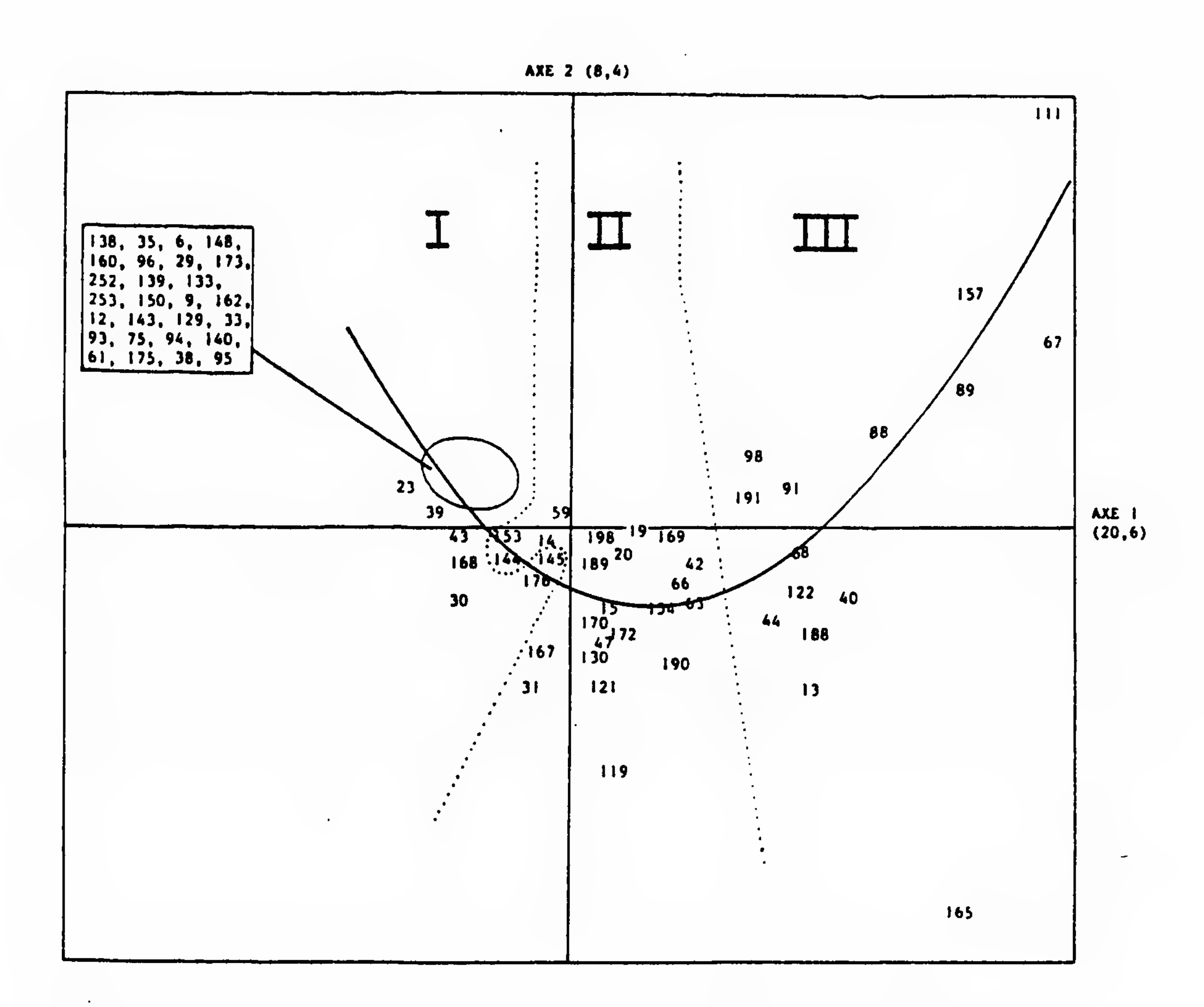


Figure 41.- Ordination des stations par l'analyse en composantes principales (72 stations, 87 taxons) dans le plan des deux premiers facteurs et limites des clusters principaux I, II et III.

AXE 2 (8.4)

AXE 1 (20.6)

7.3 7.3 7.1 6.9 7.2 7.2 7.1 3.9 4.1 6.9 4.8 5.8 6.7 6.8 6.0 4.7 6.2 6.3 7.1 6.6 7.2 4.6 5.2 5.2 7.3 6.8 5.0 6.8 7.0 4.8 6.8 6.8 5.9 5.7 6.4 6.6 7.5 5.8 6.8 7.2 6.1 6.0 6.4 6.7 6.2 6.7

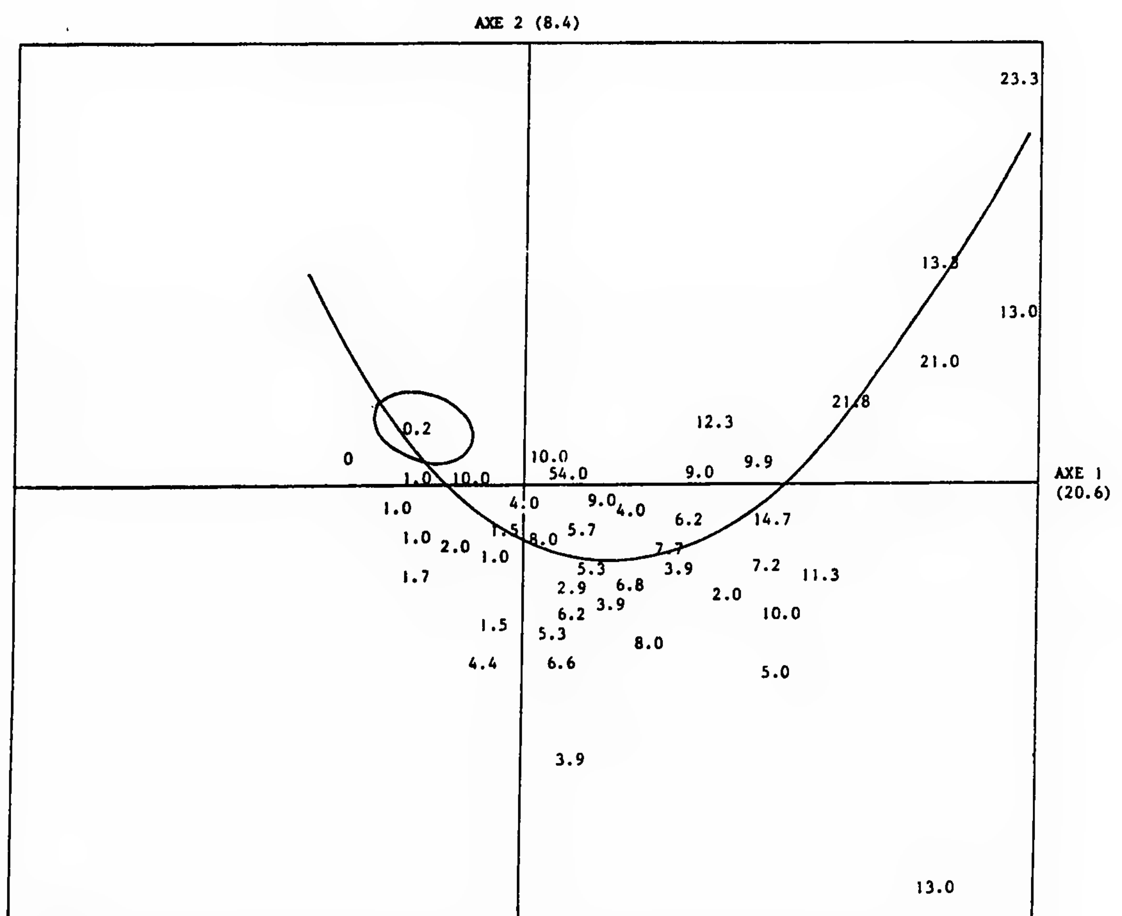


Figure 42.- Remplacement des points stations de la figure 41 par les valeurs moyennes de pH (au-dessus) et d'alcalinité (en bas).

Dans un second temps, il sera possible de comparer les résultats bruts des comptages de 1976, 1977 et 1978 au tableau moyen synthétique afin d'obtenir une interprétation globale des variations saisonnières des peuplements pour chaque station et pour chaque groupe de stations obtenus par clustering. L'écologie des groupements et leur dynamique seront discutées par rapport aux facteurs climatiques et physico-chimiques.

5.3.3. Cluster analysis

Cette analyse, effectuée à partir des chiffres moyens d'abondance des 87 taxons principaux dans les 72 stations de référence, aboutit à deux dendrogrammes (taxons et stations) dont nous donnons la version remaniée en fonction des résultats de l'analyse en composantes principales dans le tableau 71 (hors texte). Ces dendrogrammes seront commentés dans le chapitre 5.3.5.

5.3.4. Utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour le classement des clusters

Les 72 stations se répartissent clairement selon un axe curvilinéaire dans le plan des deux premiers facteurs (valeurs propres : 20.6 et 8.4 pour F_1 et F_2) (figure 41).

Les stations où les taxons, reconnus acidophiles par la littérature, sont abondants, se trouvent groupées en un noyau très dense dans le quart supérieur gauche. Les stations à l'extrême droite sont les plus mésotrophes. On obtient donc une ordination régie par le comportement des taxons vis-à-vis de certains paramètres physico-chimiques. Il est remarquable de constater que l'ordre des stations obtenu par cette analyse est étroitement parallèle à celui du tableau physico-chimique moyen (tableau 56).

De plus, le remplacement sur la figure 41 des numéros de stations par les valeurs moyennes de pH et d'alcalinité pour chaque station, montre clairement l'augmentation de ces valeurs le long de l'axe curvilinéaire (figure 42), ce qui confirme sa signification écologique (supposée par la connaissance de l'auto-écologie de quelques taxons repères) et celle des tableaux résultant de notre analyse en composantes principales qui a été effectuée à partir de données exclusivement biologiques.

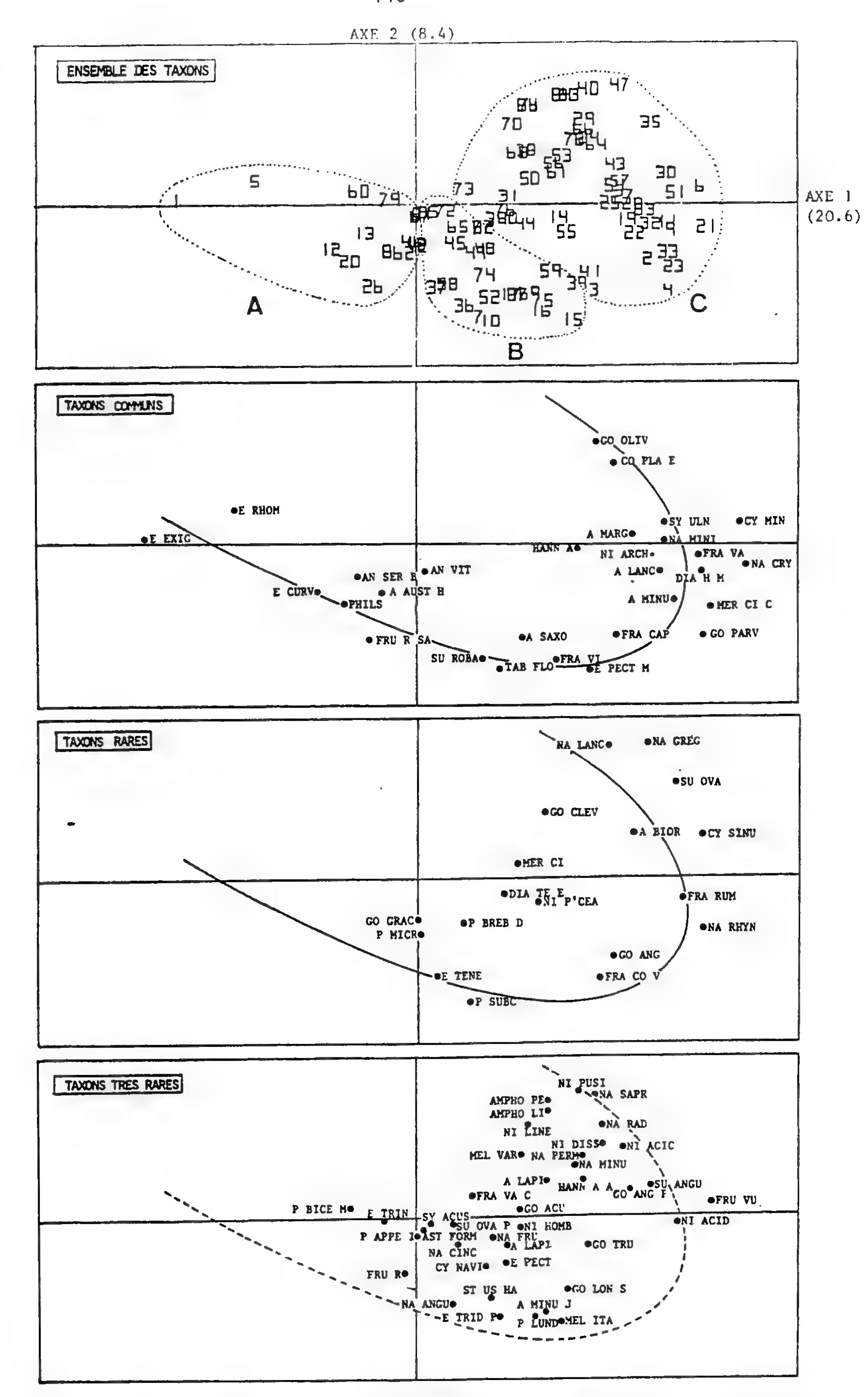


Figure 43.- Ordination des taxons par l'analyse en composantes principales (72 stations, 87 taxons) dans le plan des deux premiers facteurs et limites des clusters principaux A, B et C. Subdivision de cette ordination en 3 graphiques correspondant aux taxons communs, rares et très rares.

L'ordination obtenue pour les taxons (figure 43) est plus complexe en raison du nombre assez important de taxons rares (une quarantaine) dont l'abondance relative est faible, face aux taxons communs bien représentés. En subdivisant le graphique en 3 entités reprenant les taxons communs (plus de 0.2 % en moyenne pour tout le corpus), rares (plus de 0.05 %) et très rares (moins de 0.05 %), on met en évidence un axe curvilinéaire dans le premier cas seulement. Il correspond à une diminution de l'abondance relative d'E EXIG parallèlement à une augmentation d'A MINU, FRA CAP . Le nuage de points est compact et circulaire pour les deux autres groupes de taxons. Cependant, si on exclut MER CI, DIA TE E et NI P'CEA, taxons bien représentés en une seule station, on retrouve l'axe curvilinéaire pour les taxons rares également. De la même façon, les taxons très rares, dont quelques valves seulement sont comptées dans une seule station, occupent une position plus centrale (FRA VA C, A LAPI, GO ACU, NI HOMB, NA FRU, SY ACUS, AST FORM, ...). Pour les 3 groupes, les taxons sont classés de la même façon : les acidophiles à gauche et les neutrophiles et alcaliphiles à droite .

Grâce à la rotation du vecteur autour du point de rencontre des 2 axes, on obtient donc une classification des stations et des taxons le long des axes curvilinéaires et nous prouvons que cet ordre correspond effectivement à un gradient de paramètres physico-chimiques confirmé par la présence de taxons repères dont l'écologie est bien connue.

A partir de ce classement "écologique", nous avons remanié le dendrogramme par rotation de certains clusters autour de leurs axes principaux, mais sans modifier leur contenu. Il n'est évidemment pas possible d'obtenir exactement le même ordre par les deux méthodes, mais on essayera d'arriver à la meilleure correspondance possible, tout en expliquant les divergences éventuelles.

Afin de vérifier cette correspondance, nous avons numéroté, sur les dendrogrammes remaniés, les clusters de stations (1 à 10) et de taxons (1 à 13), puis nous avons reporté ces numéros sur les ordinations issues de l'ACP. Nous examinerons successivement le problème des stations et des taxons.

5.3.4.1. Cas des stations (tableau 70 et figure 44)

On constate que, d'une façon générale, la mise en ordre du dendrogramme correspond à l'axe curvilinéaire (n° de cluster croissant de gauche à droite).

N° de station	N° du cluster	N° de station	N° du cluster	N° de station	N° du cluster
138	3	175	5!	190	8
35	1	38	2	154	8
6	3	95	3	165	10!
148	3	23	4	20	8
160	1	39	4	13	9
96	3	43	4	63	6!
29	1	153	6	66	8
173	5!	168	5	44	9
252	1	59	6	188	9
139	3	14	8!	198	6!
133	2	30	4	42	9
253	2	144	6	122	9
150	2	145	5	40	9
9	3	176	5	68	9
162	3	31	7	169	8
12	3	167	7	19	8
143	5!	189	8	191	9
129	3	130	6	91	9
33	3	170	6	88	9
93	2	172	7	89	9
75	1	121	7	67	9
94	3	47	8	98	9
140	5!	119	7	157	10
61	1	15	8	111	10

Tableau 70.- Comparaison entre la position des stations le long de l'axe curvilinéaire et le numéro de cluster correspondant sur le dendrogramme remanié.

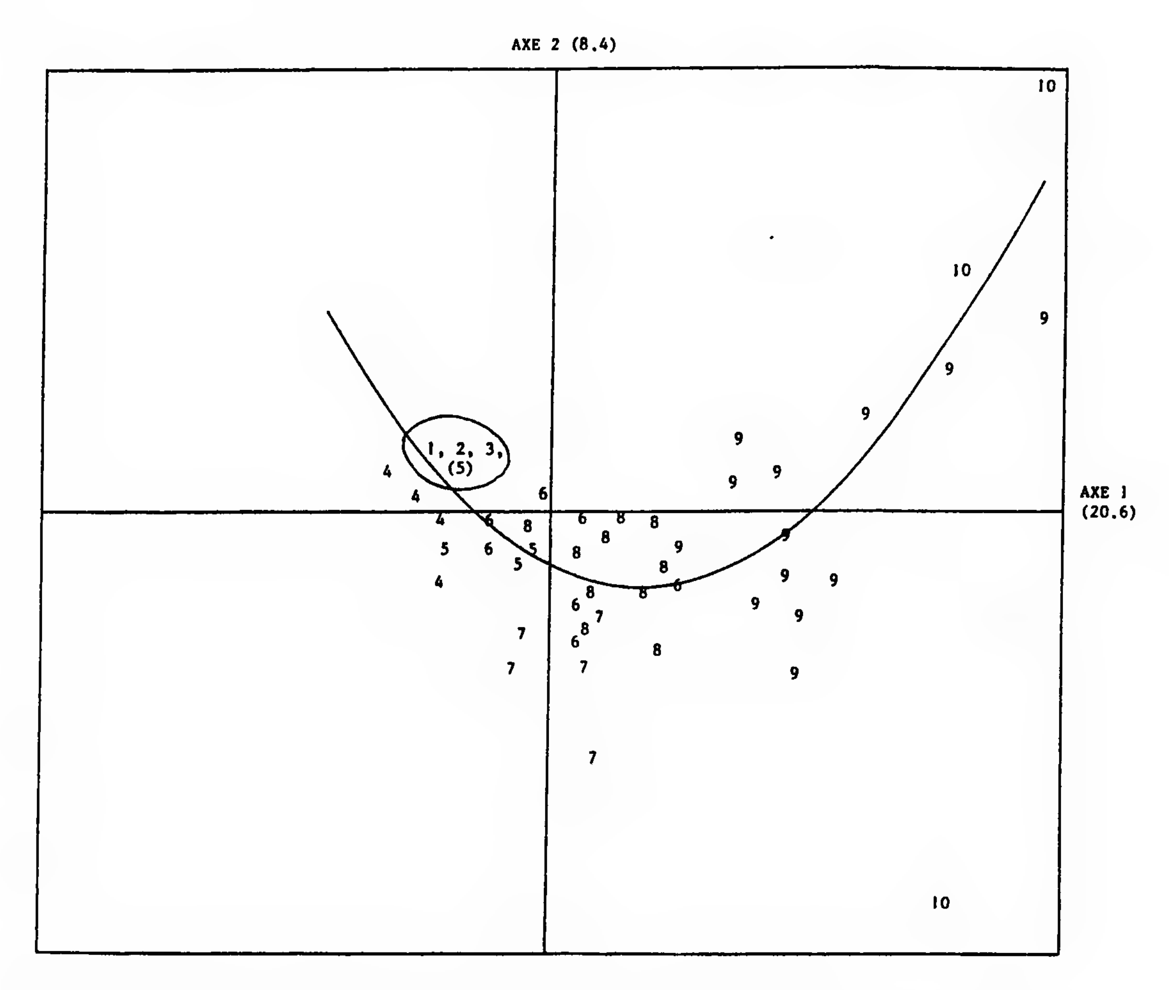


Figure 44.- Remplacement des points stations de la figure 41 par les numéros de cluster correspondant au dendrogramme remanié.

Quand la répartition des points est large, la correspondance est très bonne (cluster 7 à 10). Par contre, il n'est pas possible de différencier les clusters 1 à 3 par l'ACP. Le cluster 6 est le plus dispersé.

En réalité, l'ACP accorde beaucoup d'importance à E EXIG, taxon certes acidobionte,mais pas strictement, puisqu'il régresse de façon continue tout au long du tableau moyen (tableau 71). Par contre, par l'analyse en cluster, on parvient à différencier des groupes de stations dans lesquels E EXIG est encore dominant, mais est accompagné par l'un ou l'autre taxon. Comme nous le verrons plus loin, chacun de ces groupes correspond à des différences réelles au niveau physico-chimique et géologique. L'analyse en cluster apparaît donc comme une méthode plus fine, qui accorde moins d'importance aux taxons dominants et permet de mettre en évidence des taxons différentiels intéressants. En tenant compte de cette remarque, il est possible d'expliquer les divergences observées entre les deux méthodes et marquées d'un point d'exclamation dans le tableau 70 :

1. En raison de leur similitude floristique, les 27 premières stations (de 138 à 95) forment un noyau très dense et les numéros des clusters 1, 2 et 3 viennent en désordre. Dans ce cas précis, l'analyse en cluster est indispensable pour comprendre la structure de ce noyau dont la subdivision en 3 groupes correspond à des caractéristiques physico-chimiques et à une situation géologique particulières.
2. Dans l'ACP, les stations 173, 143, 140 et 145, où E EXIG est dominant, sont associées aux autres stations où ce taxon atteint un développement équivalent, c'est-à-dire avec les stations des clusters 1 à 3. Par contre, l'analyse par cluster tient compte de la présence en plus d'E EXIG, d'A AUST H et de P HILS en quantité assez faible mais suffisante pour justifier le rapprochement de ces 4 stations en un petit cluster qui s'intègre aux stations 168, 176 et 145 où ces deux taxons sont les plus abondants.
3. La station 165 compte, parmi les taxons principaux, FRA CO V (24 % d'abondance relative) mais c'est un chiffre absolu et non une moyenne car cette station n'a été prospectée qu'une fois. L'abondance de ce taxon, rare partout ailleurs, est sans doute exceptionnelle et suffit à expliquer la position très excentrique de cette station qui, au vu de son cortège floristique, rejoindrait sans doute les stations 111 et 157 dans un traitement excluant ce taxon.
4. Le cluster 6 est assez dispersé dans l'ordination en ACP, ce qui indique une hétérogénéité qui se retrouve dans le classement physico-chimique et que nous tenterons d'expliquer plus loin.

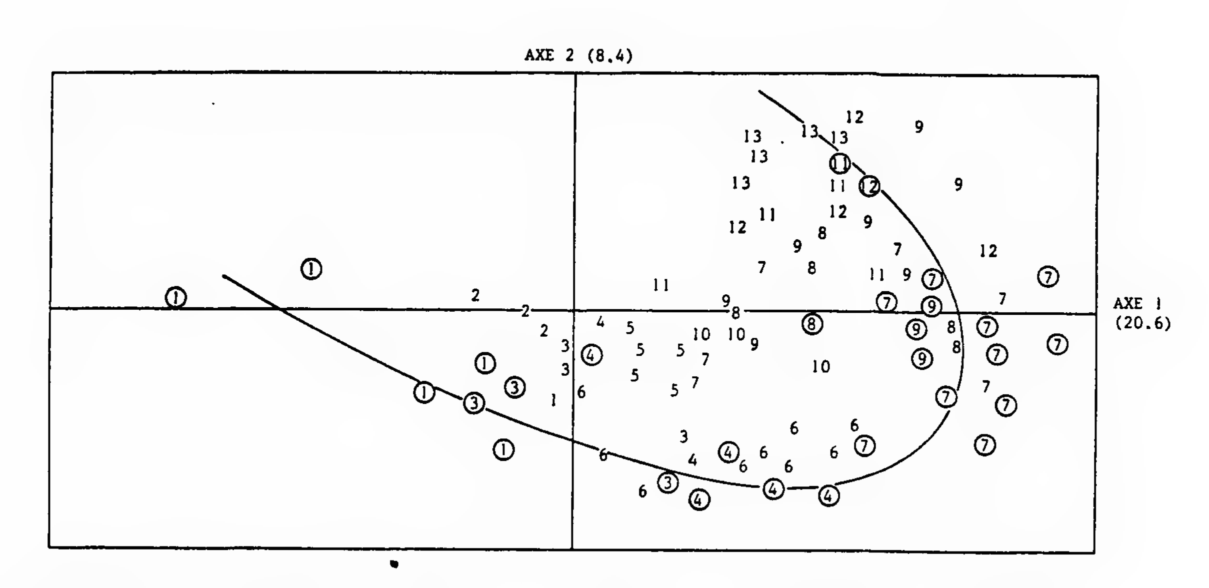


Figure 45.- Remplacement des points taxons de la figure 43 par les numéros de cluster correspondant au dendrogramme remanié. Les taxons les plus abondants sont cerclés.

5.3.4.2. Cas des taxons (figure 45)

Comme pour les stations, il y a une concordance générale entre l'ordre des clusters dans le dendrogramme remanié et l'ordre de l'ACP. Cette concordance est satisfaisante quand on n'indique les numéros de cluster que pour les taxons principaux (clusters 1, 3, 4, 7 à 11, 13 et 14) et moins bonne quand on considère l'ensemble des 87 taxons traités : il existe alors de nombreux recoupements dus à la présence simultanée des taxons rares et communs.

En conclusion, nous observons que, d'une façon générale, les clusters obtenus se répartissent assez régulièrement le long de l'axe curvilinéaire et les taxons ou les stations de certains de ces clusters se trouvent même groupés sur l'ordination qui n'est pourtant que la projection dans un plan d'un nuage de points. Ce parallélisme entre 2 méthodes très différentes nous montre que, le cluster analysis synthétisant toute l'information et l'ACP totalisant sur les 2 premiers axes 29 % de la variabilité totale, les 71 % restant constituent une variabilité résiduelle qui échappe actuellement à l'interprétation. La convergence des résultats et la complémentarité de ces deux méthodes en font des outils très efficaces pour ce genre d'étude, d'autant plus que le classement issu de l'ACP se trouve être parallèle au classement obtenu indépendamment par les analyses physico-chimiques et l'étude géologique, ce qui permet une interprétation écologique directe.

5.3.5. Typologie des peuplements de diatomées (tableau 71, hors texte)

En utilisant les dendrogrammes remaniés, on peut construire un tableau où l'ordre des 72 stations et des 47 taxons principaux a une signification écologique que nous venons de préciser. Des groupes de taxons, caractérisant des groupes de stations, apparaissent clairement.

Nous commenterons successivement les dendrogrammes des taxons puis des stations et nous décrirons les assemblages de diatomées qui les caractérisent, en nous référant en même temps au tableau physico-chimique et géologique (tableau 56).

5.3.5.1. Dendrogramme des taxons

Au niveau le plus élevé, on trouve deux clusters principaux (A+B, et C) correspondant à deux groupes de taxons bien délimités dans le tableau : l'un, composé de taxons acidobiontes et acidophiles où E EXIG est largement dominant (cluster A+B), l'autre rassemblant des neutrophiles avec comme taxons dominants A MINU et FRA CAP (cluster C), mais aussi des taxons réputés alcaliphiles (CY SINU, CO PLA E, MEL VAR, NI DISS, AMPHO PE, AMPHO LI) ou saprophiles (NA SAPR, NI DISS) qui ne sont bien représentés que dans les 3 dernières stations (165, 111 et 157). L'augmentation progressive des niveaux du dendrogramme quand on passe du cluster C-7 au cluster C-13, est le reflet de l'homogénéité de ce cluster C, ce qui ressort bien de la distribution des chiffres dans le tableau. Il est donc difficile d'établir des coupures dans ce continuum.

A un niveau inférieur, les clusters A et B se séparent et correspondent aux taxons acidobiontes (cluster A) et acidophiles (cluster B). En descendant encore, 10 clusters se distinguent à des niveaux équivalents (1, 3 à 9, 11 et 12). Viennent enfin les clusters 2, 10 et 13 composés de taxons rares partout, sauf dans une station (différentiels de stations).

Nous allons passer en revue la composition de ces différents clusters :

- CLUSTER A-1 : taxons acidobiontes : E EXIG, E RHOM, E CURV, FRU R SA,
  acidophiles : FRU R, AN SER B

  A-2 : taxons acidobiontes, différentiels de la station 23
  P BICE M, E TRIN, P APPE I

- CLUSTER B-3 : taxon acidobionte : A AUST H
  taxons acidophiles : P HILS, GO GRAC, SU ROBA
  + 2 taxons planctoniques plutôt neutrophiles (AST FORM et ST'US HA), différentiels de la station 145 située en aval d'un petit déversoir.
- CLUSTER B-4 : taxons acidophiles généralement associés à SU ROBA : AN VIT, NA ANGU, A SAXO, E TRID P, TAB FLO, E PECT M, FRA VI + un taxon neutrophile (SY ACUS), différentiel de la station 189, classé à cet endroit car sa distribution est la plus proche de celle de AN VIT.
- CLUSTER B-5 : 1 taxon, plutôt neutrophile (P BREB D) qui caractérise très bien le cluster de station II-6 et à côté duquel viennent se ranger d'autres neutrophiles (SU OVA P, NA CINC, CY NAVI, NA FRUG), qui ont été principalement observés dans ces mêmes stations.
- CLUSTER B-6 : taxons plutôt acidophiles mais assez régulièrement répartis dans tout le tableau (P MICR, E TENE, P SUBC) et une série de taxons neutrophiles (P LUND, MEL ITA, FRA CO V, A MINU J, GO LON S, GO ANG) trouvés typiquement à la station 165 et rangés ici aux côtés des 3 taxons précédents aussi comptés à cette station.
- CLUSTER C 7-8 : on peut considérer que les taxons tous neutrophiles de ces clusters forment un ensemble et accompagnent généralement A MINU, GO PARV et FRA CAP. (A LAPI : différentiel de la station 40).
- CLUSTER C-9 : taxons neutrophiles, indicateurs d'une eutrophisation (A LANC, NA MINI, SU ANGU, NI ARCH, NA MINU, SU OVA, NA GREG, MER CI, NI P'CEA, NI ACIC) : d'après nos spectres biologiques, ces taxons se développent surtout dans des eaux où les teneurs en nitrates et en phosphates sont plus élevées. Leur présence semble bien corrélée à l'existence des pâtures sur les bassins versants.
- CLUSTER C-10 : composé de 3 taxons différentiels de la station 40 (DIA TE E, NI HOMB, GO TRU).
- CLUSTER C-11 : taxons différentiels des stations de la vallée de l'Our (GO OLIV, GO CLEV, A LAPP, NA RAD) sauf GO ANG P (stations 191, 98, 91, 157).
- CLUSTER C12 à 13 : taxons alcaliphiles et (ou) saprophiles (CY SINU, NA LANC, CO PLA E, MEL VAR,NI DISS, AMPHO PE, AMPHO LI, NA SAPR, NI PUSI, NI LINE) différentiels des stations 111 et 157 principalement.

On constate que les taxons les plus rares occupent parfois des positions qui sont peu en accord avec ce que l'on connaît de leur écologie. En fait, par le cluster analysis, un taxon rare, compté en quelques exemplaires dans une station, est rangé aux côtés de taxons moins rares ou abondants présents dans cette même station (par exemple, AST FORM et ST'US HA, neutrophiles, comptés seulement à la station 145 - respectivement 2 et 4 valves - et rangés aux côtés des acidophiles A AUST H et P HILS qui caractérisent cette station).

5.3.5.2. Dendrogramme des stations

Au niveau supérieur, on distingue deux grands clusters (I et II+III). Le I se caractérise par l'abondance d'E EXIG (généralement plus de 60 % d'abondance relative moyenne) accompagné de quelques taxons acidophiles. Le pH moyen pour toutes ces stations dépasse rarement 5.

Le cluster II+III se distingue du précédent par la régression progressive d'E EXIG et son remplacement par A MINU, FRA CAP et tout un cortège de taxons neutrophiles.

Au niveau suivant, situé nettement plus bas, les clusters II et III se séparent. Une partie des stations du cluster II est encore riche en E EXIG et autres taxons acidophiles appartenant aux clusters de taxons A et B et une autre partie est remarquable par l'abondance de FRA CAP. Le pH moyen est rarement supérieur à 6.8.

Pour le cluster III, on notera la régression accusée de E EXIG (sauf dans les stations 42 et 44 recevant, de l'amont, des eaux hivernales acides) et de FRA CAP. C'est A MINU qui domine le peuplement et qui est accompagné de différents taxons neutrophiles (DIA HI M, CY MIN, FRA VA, NA CRY, ...). Le pH moyen est souvent supérieur à 7.0.

Comme pour les taxons, un certain nombre de clusters isolés à 2 niveaux inférieurs (1 à 3 et 4 à 10) seront décrits successivement. Ils correspondent à des groupes de stations présentant des peuplements distincts en relation avec des caractéristiques physico-chimiques et géologiques connues.

D'une façon générale, et en rapport avec le tableau physico-chimique moyen (tableau 56), on peut distinguer :

- les clusters I (1, 2 et 3) : pH moyen = 4 (classe 1)
- les clusters I (4 et 5) : pH moyen = 5 (classe 2)
- les clusters II (6 et 7) : pH moyen = 6 (classe 3)
- les clusters II (8) et III (9 et 10) : pH moyen = 7 (classe 4)

La même progression est obtenue pour l'alcalinité qui, dans nos eaux non polluées et non carbonatées, varie parallèlement au pH.

5.3.5.3. Description des assemblages moyens de diatomées et corrélations géologique et physico-chimique

Le tableau 71 met en évidence 10 types différents de peuplements moyens. D'après le dendrogramme des stations et la distribution des taxons, nous considérons que :

- les types I.1 et I.3 à II.6 sont des variantes,et le type I.2 un faciès d'un assemblage caractérisé par E EXIG;
- les types II.7 à III.9 sont des variantes d'un assemblage caractérisé par FRA CAP et E PECT M;
- le type III.10 est un faciès d'altération des variantes II.8 et III.9 en raison de la présence de taxons alcaliphiles et (ou) saprophiles.

La description de ces peuplements comporte trois volets :

1. la répartition des variantes dans le territoire étudié (stations groupées par bassins principaux : Amblève, Our, Roer et Vesdre);
2. la description des variantes avec
   - en 2A, l'abondance relative moyenne des taxons importants : cette moyenne est calculée par cluster de stations à partir de tous les prélèvements qui y ont été faits;
   - en 2B, la description détaillée des variantes avec différents commentaires concernant leur signification au cours de l'année, la présence de taxons différentiels ou indicateurs d'eutrophisation, la comparaison avec les autres assemblages, ...

3. la géologie et la physico-chimie avec
   - en 3A, la ou les séquences géologiques depuis la source jusqu'aux stations de prélèvements;
   - en 3B, des commentaires sur les raisons géologiques, pédologiques, éventuellement anthropiques, qui permettent d'expliquer l'appartenance aux types chimiques précédemment décrits (tableau 56) et leurs conséquences sur les peuplements de diatomées.

Les abréviations dt (dominant) et cdt (codominant) sont utilisées dans l'intitulé de chaque variante ou faciès.

1. Assemblage à E EXIG

I.1. Variante à E EXIG dt

1. Répartition
   - Bassin de l'Amblève : stations 29 (Bayehon), 75 (Trots Marets).
   - Bassin de la Vesdre : stations 35 (Soor), 160 et 252 (Helle), 61 (ruisseau du Pendu).

2. Description
   A. E EXIG : 99 %; autres taxons : 1 %
   B. E EXIG est largement dominant pendant toute l'année.

3. Géologie et physico-chimie
   A. Rv_2 ou Rv_2 (Sm) ou Rv_2-Rv_3-Sm
   B. D'après le tableau physico-chimique moyen, ces stations correspondent aux types chimiques 1, 2 et 5. Les 2 types acides (1 et 2) diffèrent par les teneurs en SO_4^{--} et Ca^{++}. Les eaux des stations 29, 35, 160 et 252 sont les plus dystrophes. En amont de ces stations, les rivières coulent exclusivement sur le Rv_2.

Aux stations 61 et 75 apparaissent quelques taxons neutrophiles (A MINU, GO PARV, FRA CAP) dont les abondances relatives moyennes restent très faibles. La situation géologique explique leur présence : contact du Rv_2 avec le Sm pour la station 61 et avec le Rv_3 et le Gd sur plus de 2 km pour la station 75 (type chimique 5) ce qui explique le pH plus élevé et la présence d'une très faible alcalinité estivale. Les stations 61 et 75 annoncent les stations du cluster suivant.

I.2. Faciès à E EXIG dt - A MINU

1. Répartition
   - Bassin de l'Amblève : station 133 (Eau Rouge)
   - Bassin de la Roer : station 38 (Roer)
   - Bassin de la Vesdre : stations 93 et 252 (Helle), 150 (Spoorbach)

2. Description
   A. E EXIG : 91 %; A MINU : 5 %; AN SER B : 1 %; autres taxons : 3 %
   B. De façon assez inattendue, on trouve réunis ici un taxon acidobionte (E EXIG) et un taxon neutrophile (A MINU) accompagné de quelques valves

de GO PARV. Un taxon acidophile, AN SER B, peut atteindre un développement modéré (stations 38 et 93). Ce type de peuplement a été rarement observé et son existence est liée essentiellement à des périodes d'étiage prononcé (surtout en octobre 1976) : dans des conditions aussi exceptionnelles, A MINU peut se développer loin des conditions optimales. C'est en fait un faciès saisonnier de la variante I.1 à E EXIG.

3. Géologie et physico-chimie

A. Rv_2 - Rv_3 ou Rv_2 + tonalite

B. Ces stations appartiennent aux types chimiques 1, 2 et 3. Les eaux y sont acides et une très faible alcalinité n'y apparaît que rarement. La géologie peut à nouveau expliquer ces particularités. Les stations 93 et 253 sont en contact avec des roches métamorphiques intrusives (tonalite) dont la richesse en éléments minéraux solubles a été montrée précédemment : rappelons que l'eau issue de ce massif, au niveau d'un forage, appartient au type chimique 11 le plus minéralisé de notre échantillonnage. Parmi les diatomées qui s'y développent, A MINU est dominante et se retrouve, sans doute par dérive, dans la Helle au niveau de la station 93.

Par contre, à la station 253 (en amont de la station 93), la présence d'A MINU ne peut être expliquée par dérive, car les eaux du forage n'arrivent pas à ce niveau. Il faut donc opter, dans ce cas, pour un effet direct de contact avec cette roche métamorphique plus riche sur la végétation algale qui se développe à sa surface. Rappelons que la station 252, 300 m en amont de la station 253, loin du massif de tonalite, est classée dans la première variante en raison de l'absence d'A MINU, ce qui confirme notre hypothèse de l'effet direct de contact, non décelé par l'analyse physico-chimique de l'eau. Cet effet n'est toutefois décelable qu'en période d'étiage. Il n'a pas été noté dans les autres types d'eau plus riches où nous avions immergé des morceaux de tonalite pendant trois semaines. Il est donc essentiel pour des eaux oligotrophes acides telles que celles coulant sur Rv_2, de s'assurer de la nature des roches sur lesquelles on prélève et d'éviter de récolter en aval des ponts ou sur les pierres dont ils sont constitués.

Le Spoorbach (station 150) est vraisemblablement en contact avec des massifs intrusifs de même type, mais qui ne figurent pas sur la carte géologique (GEUKENS, 1981 et communication personnelle) ou est partiellement alimenté par des eaux issues de tels massifs.

La station 38 se trouve à la limite du Rv_2 et Rv_3 dont les bancs de phyllades barrent le cours en plusieurs endroits.

Le peuplement de la station 133 ne correspond pas à sa situation géologique (Rv_2) qui la situerait dans la première variante . En amont, cette rivière reçoit les apports d'eaux plus riches issues de différents pouhons, dont certains (pouhon de Bernister) sont carbogazeux (pH 4.8 à 5.3 et alcalinité élevée : 46 à 120 ppm-$CaCO_3$, DEFOSSE, communication personnelle). Ces apports sont sans doute faibles par rapport au débit de la rivière, néanmoins, il en résulte une augmentation du pH moyen (5.9) et une alcalinité faible mais constante (2 ppm-$CaCO_3$), qui classent cette station dans le type chimique 5.

I.3. Variante à E EXIG dt - E RHOM cdt (E CURV)

1. Répartition
   - Bassin de l'Amblève : station 129 (Eau Rouge)
   - Bassin de la Vesdre : stations 94, 95, 96 (Helle), 148 et 162 (Gileppe), 6 (Getzbach), 138 et 139 (Hoëgne), 12 (Eschbach), 33 (Steinbach), 9 (Vesdre).

2. Description
   A. E EXIG : 86 %; E RHOM : 12 %; autres taxons : moins de 2 %
   B. E RHOM atteint ici son optimum et peut devenir dominant à certains moments de l'année.
      E CURV est observé en faible quantité dans certaines stations.

3. Géologie et physico-chimie
   A. Rv_2
   B. Les stations regroupées ici appartiennent toutes aux types chimiques 1 (station 162 : pauvre en E RHOM), 2 et 3. Ces deux derniers types sont toujours très acides, mais se distinguent du 1 par des teneurs en calcium plus élevées (en moyenne 4 ppm contre 2 ppm dans le type 1). Les stations sont toutes situées sur des cours d'eau drainant le Rv_2.

Nous avons déjà montré précédemment (FABRI & LECLERCQ, 1979) la minéralisation plus importante des eaux issues des fagnes du Nord (stations 6, 12, 33 et 9) en relation possible avec l'épaisse couche de cendres résultant de l'incendie de 1947 (TERWAGNE, 1948) plus riches en éléments minéraux (BOUILLENNE, 1926). Pour les stations aval de la Helle (94, 95 et 96), la

minéralisation plus importante est sans doute due à l'enrichissement progressif normal lié au parcours beaucoup plus long (plus de 10 km) sur les roches du Rv_2, mais également à la modification de la lithologie, les quartzophyllades étant plus abondantes dans la partie en aval du Petit-Boneur (stations 94, 95 et 96). Pour les autres stations (148, 162, 138, 139, 129), les zones tourbeuses de source sont sensiblement moins développées, ce qui peut expliquer une mobilisation moindre d'éléments minéraux provenant notamment des eaux de pluie et donc une augmentation de ces éléments dans les eaux courantes.

I.4. Variante à E EXIG dt, E RHOM, E CURV cdt, FRU R SA

1. Répartition
   - Bassin de la Roer : station 39 (Roer), 30 (Scheidbach), 43 (Schwarzbach).
   - Bassin de la Vesdre : station 23 (Ru de la Baraque).

2. Description
   A. E EXIG : 66 %; E RHOM : 9 %; E CURV : 8 %; AN SER B : 7 %, FRU R SA : 1 % TAB FLO : 1 %; FRA CAP : 4 %; A MINU : 1 %; autres taxons : 3 %.
   B. Deux taxons s'ajoutent à E EXIG qui reste dominant et à E RHOM dont l'abondance relative est plus faible que dans la variante I.3. En plus des taxons acidobiontes, des taxons acidophiles (TAB FLO, FRA VI, E PECT M) apparaissent pour les stations 30, 39 et 43 alors que la station 23 est proche de celles du cluster précédent. Les stations 39 et 43 sont caractérisées par A MINU et FRA CAP dont c'est la première mention significative dans le tableau, mais surtout par un taxon différentiel (AN SER B) déjà présent dans les stations 38 et 93 (cluster I.2.). Il est très fidèle à ces deux stations 39 et 43 où il trouve des conditions optimales que nous tenterons de préciser.

3. Géologie et physico-chimie
   A. Rv_2, Rv_2 - Rv_3, Rv_2 - Rv_3 - Gd - Sl ou Rv_2 - Rv_3 - Sm
   B. La station 23 (type chimique 1, substrat Rv_2) est très proche de la station 162 (cluster I.3.) mais est classée ici pour quelques valves supplémentaires d'E CURV. P APPE I et P BICE M sont des taxons acidophiles différentiels de cette station (3 % et 5 % d'abondance relative). Les stations 30, 39 et 43 figurent dans le type chimique 4 (intermédiaire acide). La station 30, pratiquement sur Rv_3 seulement, représente typiquement cette variante. Pour les stations 39 et 43, les sources sont sur le Rv_2 et le reste du parcours sur les assises plus riches du Rv_3 - Sm (station 43) et du Rv_3, Gd et Sl (station 39). Les parcours sur ces

roches sont plus longs que pour les quelques stations précédemment citées (38, 61), ce qui détermine une composition chimique de l'eau différente pendant la plus grande partie de l'année, notamment une alcalinité plus fréquente et pouvant atteindre 6 ppm-$CaCO_3$.

I.5. Variante à E EXIG dt, E RHOM, A AUST H cdt, P HILS

1. Répartition
   - Bassin de l'Amblève : stations 168 (ruisseau de Bennevi), 175 (Holzbach), 176 (ruisseau de Crisnire)
   - Bassin de la Vesdre : stations 140, 143 et 145 (Hoëgne), 173 (Gileppe).

2. Description
   A. E EXIG : 73 %, A AUST H : 15 %, P HILS : 3 %; E RHOM : 2 %; autres taxons : 7 %.
   B. Il s'agit d'un groupement original et intéressant par sa stabilité au cours de l'année et la constance d'A AUST H qui atteint ici manifestement son optimum et est étroitement associé à P HILS. Les taxons neutrophiles A MINU et GO PARV restent très rares et limités à deux stations seulement (176 et 145).

C'est donc encore une variante acidophile où E EXIG et quelquefois A AUST H sont dominants.

La station 168 se distingue par le nombre réduit d'E EXIG et les quantités importantes d'A AUST H, P HILS et FRA VI, mais nous ne disposons ici que d'un seul prélèvement en étiage et non de valeurs moyennes.

3. Géologie et physico-chimie
   A. Rv_2, Rv_2-Rv_3 - Sm, Rv_2 - Rv_3; Rv_3 ou Rv_2 + silex
   B. Le type chimique 2 est représenté par la station 140 (substrat Rv_2), qui, par le petit nombre d'A AUST H, fait la transition avec la variante I.3. (E EXIG - E RHOM) et dont les eaux sont acides, toujours sans alcalinité.

Les autres stations concernent des rivières qui sont toutes en contact plus ou moins prolongé avec le Rv_3, le Sm ou, comme la station 176, avec des îlots de silex dont la matrice semble encore légèrement carbonatée (faible effervescence à l'HCl). Elles se répartissent en type chimique 3 (143, 175, 173 : pH acide, alcalinité presque toujours nulle), 4 (168 et 176) et

5 (145) pour laquelle l'alcalinité est faible mais constante. Pour toutes ces stations, le calcium est en classe 2.

Le Holzbach (station 175) et le ruisseau de Bennevi (station 168) sont, d'après la carte géologique presque exclusivement sur l'assise Rv_3, les sources du Holzbach étant situées sur Rv_2. La physico-chimie les distingue pourtant.

La station 175 est caractérisée par le type chimique 1 (classe 1 pour tous les paramètres). Or toutes les stations de ce type coulent sur l'assise Rv_2. Il semblerait donc que dans cette zone de faille, la carte géologique souffre d'une certaine imprécision et que la majorité du cours s'écoule sur Rv_2. Néanmoins, lors d'un prélèvement d'eau réalisé en août 1983, nous avons relevé des valeurs de pH de 4.5 et une faible alcalinité. Ceci et la présence d'A AUST H dans notre échantillon d'algues semble confirmer un contact avec des roches du Rv_3, mais pas sur tout le cours, contrairement à ce qu'indique la carte géologique.

La station 168 est caractérisée par le type chimique 4 et semble bien être située sur les roches plus minéralisées du Rv_3. La richesse de ces roches a pu être mise en évidence lors de prélèvements supplémentaires réalisés en août 1983 : ruisseau du Pouhon, station 261 : pH 5 et alcalinité 2.5 ppm-$CaCO_3$; Noir Ru, station 262 : pH 5.8 et alcalinité 6 ppm-$CaCO_3$; Houvegné, station 167 : pH 6 et alcalinité 6 ppm-$CaCO_3$.

II.6. Variante à E EXIG dt, A MINU cdt, SU ROBA (parfois cdt), GO PARV, FRA CAP, A LANC, NA MINI, NI ARCH.

1. Répartition
   - Bassin de l'Amblève : station 130 (ru Hodial), 170 (Roannai)
   - Bassin de la Vesdre : stations 153 et 59 (Wayai); 63 (Winamplanche), 144 (ruisseau du Taureau), 198 (forage dans la tonalite).

2. Description
   A. E EXIG : 40 %; A MINU : 37 %; SU ROBA : 4 %; GO PARV et FRA CAP : 2 %; E RHOM, P HILS, A AUST H : 1 %; indicateurs d'eutrophisation : NI ARCH : 2 %; A LANC, NA MINI : 1 %; autres taxons : 8 %.
   B. Le passage à cette variante constitue une étape importante par la présence affirmée d'A MINU en tant que taxon codominant.

Un équilibre s'établit ici entre les taxons acidobiontes et acidophiles déjà cités auxquels s'ajoutent SU ROBA, les taxons qui l'accompagnent généralement et qu'on trouvera mieux représentés dans la variante suivante (TAB FLO, FRA VI, E PECT M) et les taxons neutrophiles : A MINU, GO PARV, FRA CAP et quelques valves de MER CI C, CY MIN, NA CRY, A MARG.

On pourrait penser que cet équilibre est obtenu artificiellement, consécutivement au calcul des moyennes entre les peuplements à physionomie acidophile en hiver et neutrophile en été. Nous verrons plus loin, lors de l'étude des variations saisonnières, qu'il n'en est rien : ces taxons, d'écologie pourtant contrastée, coexistent dans ces stations, même si les taxons acidophiles sont favorisés au printemps. Par ailleurs, ce type de peuplement (E EXIG - A MINU) est proche du faciès saisonnier I.2., lequel n'apparaît qu'en cas d'étiage exceptionnel. Cependant, dans ce cas, les eaux demeurent très acides et E EXIG reste dominant.

Cette variante pose cependant un problème par la présence de taxons indicateurs d'eutrophisation : A LANC, NA MINI, NI ARCH, auxquels on peut ajouter P BREB D, qui, d'après nos observations, semble lié à des eaux acides légèrement contaminées par des matières organiques. Par référence aux stations 144, 130 et 59 dans lesquelles ces taxons sont très peu représentés, nous pensons que les autres taxons de la variante ne sont pas ou très peu influencés par cette contamination qui, étant très faible, serait immédiatement résorbée, échappant ainsi à la détection par les analyses physico-chimiques. On peut néanmoins noter que pour les stations de ce cluster, les nitrates et le magnésium sont passés de la classe 1 à la classe 2, sans doute en raison de la présence de pâtures amendées rares ou absentes sur les terrains pauvres du Rv et du Sm. Cette hypothèse est confirmée par nos meilleures stations de référence des clusters 7, 8 et 9, sur des terrains encore plus riches du Siegenien et de l'Emsien mais dont les bassins versants sont encore abondamment boisés et dont les plaines alluviales comptent parmi les mieux conservées dans le nord de l'Ardenne (Roer, Schwalm, Olef, et quelques affluents de l'Our) : les teneurs en nitrates et magnésium y sont souvent plus faibles et les taxons indicateurs d'eutrophisation sont absents ou très peu représentés.

A la station 198 (forage dans la tonalite), E EXIG est très rare. A MINU dominant est accompagné de NI ARCH dont la présence n'est sans doute pas sans rapport avec la minéralisation élevée et la présence de phosphates qui auraient, ici, une origine naturelle. Il est évident que cette station est placée dans ce cluster en raison de très faibles quantités de taxons aci-

dophiles (P HILS, A AUST H, P BREB D) alors qu'elle devrait plus logiquement se trouver dans le cluster 10 caractérisé par la dominance d'A MINU.

3. Géologie et physico-chimie

A. Rv_2 - Rv_3, Rv_2 - Sm, Rv_3 + Silex, Rv_2 - Rv_3 - Sm ou Rv_3 - Sm + silex.

B. La station 144 aux eaux encore acides, mais toujours légèrement bicarbonatées (type chimique 4), fait la transition avec la variante précédente (présence de A AUST H). En dehors de la station 198 dont nous venons de parler et qui est la plus minéralisée (type chimique 11, alcalinité très élevée : 54 ppm-$CaCO_3$), les types chimiques pour les stations de ce cluster sont les types intermédiaires légèrement acides, le 6 pour les rivières qui prennent leur source sur Rv_2 puis coulent sur Rv_3 ou Sm (63, 153) et le 7 pour les autres stations (source sur Rv_2 pour la station 59, sur Rv_3 pour 170 et 130, lesquelles sont en contact avec des îlots de silex). Ces types chimiques sont caractérisés par le pH plus élevé que dans les stations précédentes et l'alcalinité faible mais présente pendant toute l'année. Le type chimique 7 est remarquable par les teneurs élevées en calcium et en magnésium qu'on ne retrouve qu'au niveau de la tonalite (station 198) et dont semble bénéficier A MINU.

Notons encore le passage du fer et de l'aluminium de la classe 2 à la classe 1 dès que l'on s'éloigne des roches du Rv_2 et des zones tourbeuses. D'autre part, des teneurs en nitrates plus élevées sont mesurées systématiquement en présence de pâtures et pourraient expliquer la présence de taxons particuliers, indicateurs d'eutrophisation.

2. Assemblage à FRA CAP

II.7. Variante à E EXIG dt, FRA CAP cdt, A MINU cdt, SU ROBA, TAB FLO, A SAXO, FRA VI, E PECT M, GO PARV.

1. Répartition

- Bassin de la Roer : stations 31 (ruisseau de la Schwarzes Venn), 172 (Hundelsbach).
- Bassin de l'Amblève : stations 119 (Roba), 121 (Rechterbach), 167 (ruisseau de Houvegné).

2. Description

A. E EXIG : 31 %; FRA CAP : 17 %; A MINU : 16 %; SU ROBA et GO PARV : 6 %; TAB FLO : 4 %; A SAXO et E PECT M : 3 %; FRA VI : 2 %; E RHOM, E CURV, AN SER B, FRU R SA, P HILS, A AUST H, DIA HI M : 1 %; autres taxons : 5 %. Si l'on excepte les taxons indicateurs d'eutrophisation, cette variante est proche de la précédente, mais les conditions optimales sont maintenant réunies pour SU ROBA et son cortège de taxons acidophiles (A SAXO qui apparaît comme le plus caractéristique de cette variante, TAB FLO, FRA VI, E PECT M) et pour FRA CAP, très peu représenté jusqu'à présent, mais quelquefois dominant ici. D'autre part, E EXIG n'est plus dominant dans toutes les stations et son abondance relative moyenne pour les stations de ce cluster tombe à 31 %. Enfin, DIA HI M, très rarement noté dans les variantes précédentes, fait une timide apparition. La richesse floristique est remarquable (maximum absolu de 209 et 208 taxons pour les stations 119 et 121 visitées une vingtaine de fois) et la diversité plus élevée que pour toutes les variantes précédentes. C'est parmi les peuplements de ces stations et de celles du cluster précédent que l'on observe les variations saisonnières les plus spectaculaires.

3. Géologie et physico-chimie

A. Rv_2 - Rv_3, Sm, Sm - Rv_2, Sl ou Sl - Gd.

B. Comme pour les clusters I.4. - 5 et II.6., une station (167) se trouve dans un type chimique plus acide (type 4) que les autres (type 6 intermédiaire légèrement acide). C'est aussi la seule rivière de ce cluster qui prend encore sa source sur le Rv_2, les autres naissant sur le Sm ou le Sl. Dans le type chimique 6, l'alcalinité est plus élevée et mesurée pendant toute l'année, les teneurs en sulfates sont moins importantes en relation avec l'absence ou la réduction du contact avec les roches du Rv_2. La minéralisation est faible. Notons encore l'abondance de substances humiques et de dépôts bruns plus ou moins abondants sur les pierres (surtout aux stations 31 et 119) et provenant des zones de source encore souvent tourbeuses. D'après GERMAIN (1936), TAB FLO est souvent noté en présence de ces matières organiques végétales naturelles, mais alors dans des conditions beaucoup moins acides; nous pensons qu'il en est de même pour E PECT M, FRA VI, SU ROBA et A SAXO.

II.8. Variante à A MINU dt, FRA CAP dt, GO PARV, E EXIG, HANN A, TAB FLO A SAXO, E PECT M, DIA HI M, CY MIN, FRA VA, SY ULN (+ A MARG).

1. Répartition
   - Bassin de la Roer : stations 19 (Jägersief), 14 et 15 (Krokkesbach), 20 et 154 (Schwalm), 47 (Büllingerbach), 189 (Olef), 190 (Höhlenwiesbach).
   - Bassin de l'Amblève : stations 169 (Ru Hodial), 66 (Holzwarche)

2. Description
   A. A MINU : 44 %; FRA CAP : 32 %; HANN A : 6 %; E EXIG et GO PARV : 3 %; SU ROBA, TAB FLO, A SAXO, E PECT M, DIA HI M, CY MIN, FRA VA : 1 %; autres taxons : 5 %.
   B. Cette variante est la plus caractéristique des eaux neutres oligotrophes sur Siegenien principalement.

FRA CAP dont l'amplitude écologique est plus limitée que celle d'A MINU (voir tableau moyen 71 et spectres écologiques) y atteint son optimum (32 % d'abondance relative moyenne pour les stations de ce cluster). Un autre taxon, HANN A, strictement limité aux clusters II.8 et III.9, peut atteindre un développement important. Ce taxon est cité par LJUBICA & STOJANOV (1975) en association typique avec *Hydrurus foetidus* (Chromophyte) dans les ruisseaux de montagne. Dans le territoire prospecté, cette algue jaune filamenteuse très rare est limitée aux deux stations amont du Rechterbach, mais elle y atteint un développement considérable en février-mars-avril : il s'agit de la station 121 (variante II.7.) où HANN A n'existe pas, et de la station 122 où ce taxon est modérément présent. D'autre part, c'est dans le bassin de la Schwalm (stations 20, 154, 47), de la Roer (station 42 : variante III.9) et de l'Our (station 88 : variante III.9) que cette diatomée est la plus abondante alors qu'*Hydrurus foetidus* n'y a jamais été observé.

On peut donc dire que, dans notre territoire, l'association précitée n'a été observée qu'une seule fois et que ses deux caractéristiques sont plus souvent rencontrées indépendamment, peut-être en raison du caractère montagnard beaucoup moins accusé de la région.

En plus de FRA CAP, A MINU, GO PARV et HANN A, toute une série de taxons sont souvent comptés en petit nombre dans les stations de ce cluster : E EXIG

SU ROBA, TAB FLO, A SAXO, E PECT M parmi les acidophiles et MER CI C, DIA HI M, CY MIN, FRA VA, SY ULN, NA RHYN, A MARG pour les neutrophiles.

Les stations prospectées une seule fois (stations 14, 19, 169, 189, 190 pour ce cluster) sont données à titre indicatif, les chiffres du comptage n'étant pas directement comparables aux chiffres moyens qui intègrent les variations saisonnières et minimisent le développement parfois considérable et exceptionnel d'un taxon généralement plus rare. C'est le cas pour la station 19 (chiffres exceptionnels pour A MARG et A BIOR) et pour la station 169 (chiffres élevés pour A LANC, NA MINI, NI ARCH, nombre très réduit d'E EXIG). La présence de ces trois taxons indicateurs d'eutrophisation (A LANC, NA MINI et NI ARCH) plaide en faveur du transfert de cette station dans le cluster II.6.

3. Géologie et physico-chimie

A. Rv_3 + Silex, S_2, S_3, $S_3 - S_2$, $E_1 - S_3$ ou $E_2 - E_1$

B. Mis à part le Roannai (station 169), les autres rivières se trouvent uniquement sur les roches du Siegenien (2 et 3) et de l'Emsien (1 et 2).

Les types chimiques les mieux représentés sont les types 8 et 9 neutres à tendance légèrement acide(pH souvent compris entre 6.5 et 7.0), bien équilibrés et très peu minéralisés (classe 1 pour les sulfates, les nitrates, le calcium et le magnésium).

Les types 6 (station 14) et 10 (station 189) correspondent à des prélèvements uniques qui sont moins représentatifs.

Le type 7 de la station 169 concorde avec la géologie (Rv_3 et silex) et confirme l'hypothèse du transfert de cette station dans le cluster II.6.

Il ne semble pas possible de différencier les peuplements correspondant au type chimique 9 de ceux du type 8 pourtant plus oligotrophe (calcium, nitrates, chlorures dans la classe 1).

III.9. Variante à A MINU dt, FRA CAP cdt, GO PARV cdt, CY MIN cdt, FRA VA cdt, DIA HI M, NA CRY, HANN A, FRA RUM, A LANC, NI ARCH, E EXIG, SY ULN.

1. Répartition

- Bassin de l'Amblève : stations 68 (Warche), 67 (Holzwarche), 122 (Rechterbach)

- Bassin de l'Our : stations 88 (Medenderbach), 89 et 91 (Kolvenderbach), 191 (Treisbach), 98 (Kleinweberbach).
- Bassin de la Roer : stations 13 (Schwalm), 42 et 44 (Roer), 188 (Tröglichtenbach), 40 (Petite Roer).

2. Description

A. A MINU : 40 %; FRA CAP : 12 %; CY MIN : 8 %; FRA VA : 6 %; GO PARV et DIA HI M : 5 %; HANN A : 2 %; E EXIG : 3 %; A AUST H, SU ROBA, DIA TE E, MER CI C, NA CRY, FRA RUM, SY ULN, A MARG, GO CLEV, GO OLIV : 1 %; indicateur d'eutrophisation : NI ARCH : 1 %; autres taxons : 8 %.

B. Par rapport à la variante précédente, FRA CAP diminue sensiblement (de 32 à 12 % d'abondance relative moyenne). De ce fait, A MINU est le seul taxon dominant. Cette variante est aussi bien caractérisée par FRA RUM, taxon neutrophile, jamais très abondant mais très nettement limité aux stations de ce cluster. La diversité est plus élevée que dans les autres variantes en raison de la présence en quantité plus importante de plusieurs taxons neutrophiles : GO PARV, DIA HI M, CY MIN, FRA VA, HANN A, MER CI C, NA CRY, NA RHYN, A MARG, FRA RUM.

CY MIN, FRA VA, NA CRY, A MARG, FRA RUM indiquent une minéralisation plus importante. Ces taxons sont moins sensibles à la pollution que tous ceux dont nous avons parlé précédemment et ils atteignent leur optimum dans des eaux modérément polluées. GO CLEV et GO OLIV sont des différentiels des stations de la vallée de l'Our, trouvés aussi quelquefois dans le bassin de l'Amblève.

Les stations 91, 98 et 191 où les taxons indicateurs d'eutrophisation (A LANC, NA MINI, SU OVA) sont très rares, peuvent être considérées comme les meilleures références sur l'Emsien. Dans quelques autres stations de ce cluster III.9, le développement de ces trois taxons est un peu plus important sans modifier toutefois la composition générale du peuplement.

Les stations 68, 42 et 44 se distinguent des autres du cluster par un nombre moyen important d'E EXIG, espèce acidobionte qui n'y est cependant comptée en quantité appréciable qu'au printemps (mars 1976 et avril 1977). Elle est même dominante pendant cette période aux stations 68 et 42. Nous en étudierons les raisons plus loin, mais nous pouvons rappeler les origines de la Roer (stations 42 et 44) se trouvant dans les tourbières acides sur Rv_2.

Dans le même ordre d'idée, on note A AUST H, acidobionte codominant avec E EXIG dominant à la station 42 en avril 1977.

3. Géologie et physico-chimie

A. Rv_2 - Rv_3 - Gd - S_1, Gd - S_1, S_1 - Gd - Sm, S_3, S_3 - E_1, E_1 - S_3, E_1 ou E_2 - E_1 - S_3.

B. L'E_1 est le substrat le mieux représenté dans ce cluster. Il est suivi par le Gd et le S_1.

La physico-chimie indique clairement que l'E_1 et le Gd sont les assises les plus riches. En effet, les types chimiques 10 et 11, auxquels appartiennent la plupart des stations groupées ici, sont caractérisés par une alcalinité moyenne souvent supérieure à 10 (type 10) et à 20 ppm-$CaCO_3$ (type 11), et par le magnésium en classe 2 et même 3. Déjà dans le cluster précédent, on peut noter que les stations sur E_1 ou E_2 (189, 66 et 190) ont une alcalinité moyenne supérieure à celles sur Siegenien.

D'autre part, même dans nos meilleures stations de référence sur E_1 (91 et 98), les valeurs moyennes de nitrates sont en classe 2.

Nous sommes donc bien en présence de type d'eau neutre à tendance basique (pH : 7 à 7.5) naturellement plus minéralisées que les types 8 et 9 et favorables à un type de peuplement plus mésotrophe.

Trois stations (42, 44 et 122) appartiennent au type chimique moyen 9 ce qui correspond bien à la situation géologique : source sur Rv_2 ou S_1 (donc arrivée d'eau acide à légèrement acide en hiver) mais contact avec les roches plus riches du Rv_3 et du Gd (provoquant une augmentation notable du pH et de la minéralisation en été et en automne).

Enfin, la station 13 (type chimique moyen 8) constitue un cas particulier : à cet endroit, la rivière, très étroite, s'écoule lentement dans une vaste jonchaie et les variations sàisonnières de la physico-chimie (température, débit, pH, ...) et du peuplement sont plus réduites que dans toutes les autres stations (même l'étiage d'octobre 1976 n'a pas eu de répercussion importante). Le meilleur indicateur des conditions plus stables de ce milieu semble bien être DIA HI M, taxon d'eau froide à développement typiquement printanier, régressant rapidement en été dans toutes les stations de ce cluster mais restant abondant pendant toute l'année à la station 13. Cette abondance explique le classement de cette station dans le cluster III.9 malgré son appartenance au type chimique 8.

III.10. Faciès à A MINU, DIA HI M, CY MIN, A LANC, NA MINI, CY SINU

1. Répartition
   - Bassin de l'Amblève : station 111 (Amblève)
   - Bassin de l'Our : stations 165 (Ulf), 157 (Koderbach).

2. Description
   A. A MINU : 38 %; CO PLA E : 10 %; CY MIN : 8 %; DIA HI M : 7 %; GO PARV : 4 %; GO OLIV : 3 %; NA LANC, CY SINU : 2 %; FRA CAP, FRA VA, NA CRY : 1 %; indicateurs d'eutrophisation : A LANC, NA MINI : 3 %; NI ARCH, NA GREG, SU OVA : 1 %; autres taxons : 14 %.
   B. Ce faciès, dominé par A MINU, est qualitativement semblable à la variante précédente. Les différences quantitatives concernent la forte diminution de FRA CAP, FRA VA (de 12 et 6 % à 1 % d'abondance relative moyenne) compensée par l'augmentation de deux taxons indicateurs d'eutrophisation (A LANC, NA MINI) et de taxons réputés calciphiles d'eau propre (CO PLA E, NA LANC, CY SINU, MEL VAR, NI DISS, AMPHO PE, AMPHO LI). Il faut encore ajouter, pour la station 111, 3 taxons saprophiles (NA GREG, NA SAPR et NI PUSI) en faible quantité.

Le peuplement de la station 165, visitée une seule fois, est dominé par FRA CO V, taxon rare partout ailleurs dans nos relevés mais souvent abondant dans les eaux eutrophisées ou polluées.

3. Géologie et physico-chimie
   A. E_1 ou S_3
   B. Les stations 157 et 111, sur E_1, appartiennent aux types chimiques 10 et 11.

La station 165, sur S_3, devait, d'après nos références, se trouver dans le type chimique 8. Elle est en fait classée en 10, comme les stations sur E_1. On notera pour ces trois stations une alcalinité élevée, le magnésium en classe 3, les nitrates et le sodium en classe 2 ou 3, les chlorures en classe 3 (stations 157 et 165) et à deux reprises, une faible teneur en phosphates (station 111).

L'augmentation des éléments tels que nitrates, sodium, chlorures et phosphates indique une eutrophisation liée aux nombreuses pâtures couvrant la majeure partie des bassins et à la proximité de l'habitat (stations 111 et 165).

Elle se traduit au niveau des peuplements par la diminution de taxons polluosensibles tel que FRA CAP, et par l'apparition en faible quantité de taxons saprophiles ou d'autres calciphiles qui trouvent, dans ces eaux mésotrophes eutrophisées, des conditions favorables à leur développement. Indicateurs d'eau calcaire propre, ils deviennent donc des indicateurs d'altération moyenne dans des milieux mésotrophes où ils n'existent que sporadiquement dans des conditions naturelles.

Par référence aux états naturels décrits sur le même substrat géologique, nous décidons d'exclure de notre typologie ces trois stations et le type de peuplement de diatomées correspondant, que nous considérons comme un faciès d'altération des variantes II.8 et III.9. Dans ces conditions, les stations présentant une variante de type II.8 ou III.9 situent, dans le tableau moyen physico-chimique et écologique, le niveau trophique normal dans des conditions naturelles, pour les eaux coulant dans le nord du massif Ardennais, sur les roches du Siegenien et de l'Emsien.

5.3.5.4. Signification des peuplements moyens

Afin de voir si les peuplements moyens que nous venons de décrire correspondent encore à des peuplements réels ou s'ils constituent seulement un assortiment théorique de taxons, nous les avons comparés à ceux obtenus par les mêmes méthodes (ACP et analyse par cluster) pour 6 séries de prélèvements, à savoir :

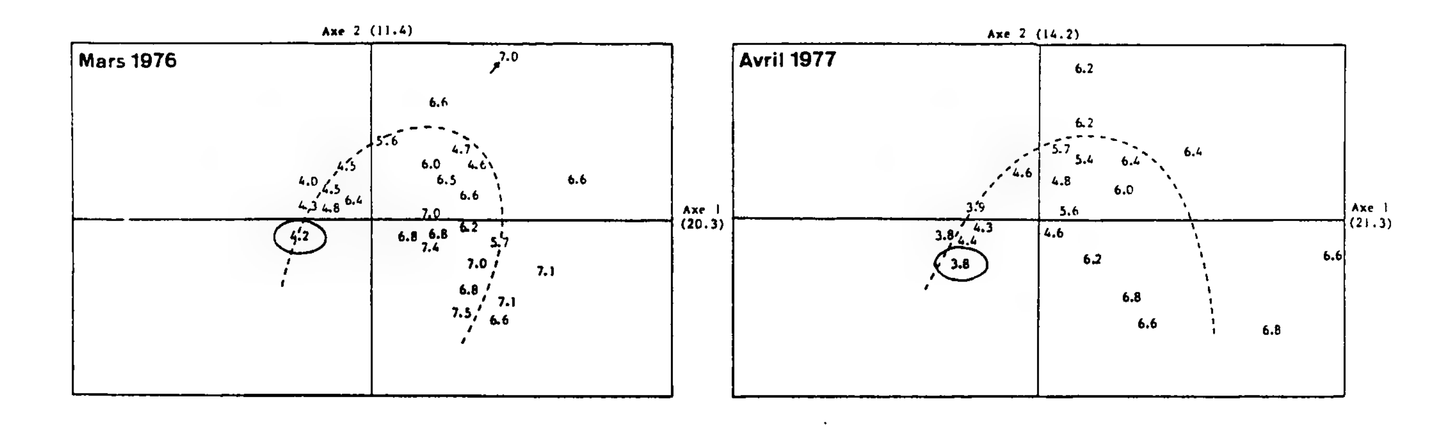
pour 1976	mars	: 49 stations,	84 taxons	moyenne 94 taxons	moyenne générale : 86 taxons .
	juin	: 50 stations,	100 taxons		
	octobre	: 50 stations,	98 taxons		
pour 1977	avril	: 28 stations,	70 taxons	moyenne 78 taxons	
	juillet	: 31 stations,	78 taxons		
	octobre	: 28 stations,	86 taxons		

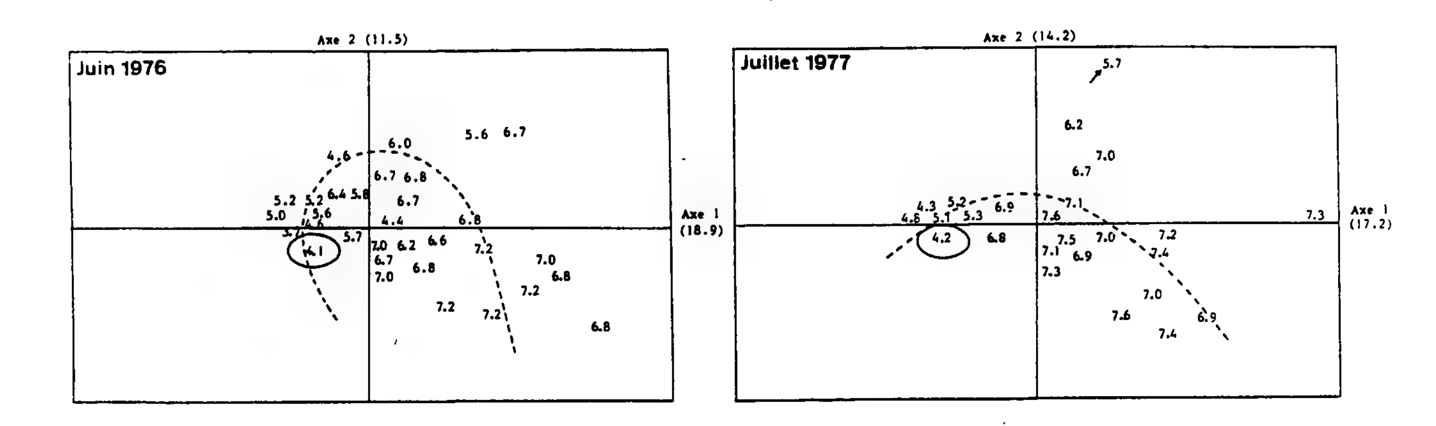
Cependant, l'analyse par cluster porte ici uniquement sur les stations; le nombre de relevés n'est pas suffisant pour effectuer un clustering sur les taxons.

Rappelons, et c'est essentiel, que les chiffres moyens du tableau ont été calculés pour les 430 prélèvements effectués en 1976, 1977 et 1978, et ne sont donc pas une moyenne des 6 séries ci-dessus qui ne totalisent que 236 relevés.

Nous avons utilisé la même démarche que pour le traitement des résultats moyens, à savoir :

- sélection des taxons : sont conservés les taxons qui ont été comptés à 1 % dans une station au moins. Pour rappel, 87 taxons ont été traités pour les résultats moyens, nombre qui correspond à la moyenne des 6 nombres ci-dessus. Le nombre plus élevé en 1976 est dû à la présence d'un plus grand nombre de taxons indicateurs d'eutrophisation liés à des stations que nous avons abandonnées lors de la sélection plus sévère de 1977;
- à partir des 6 analyses en composantes principales, on obtient un classement écologique des taxons depuis les acidophiles jusqu'aux neutrophiles et un classement des stations suivant un pH et une alcalinité croissants (figures 46 et 47).





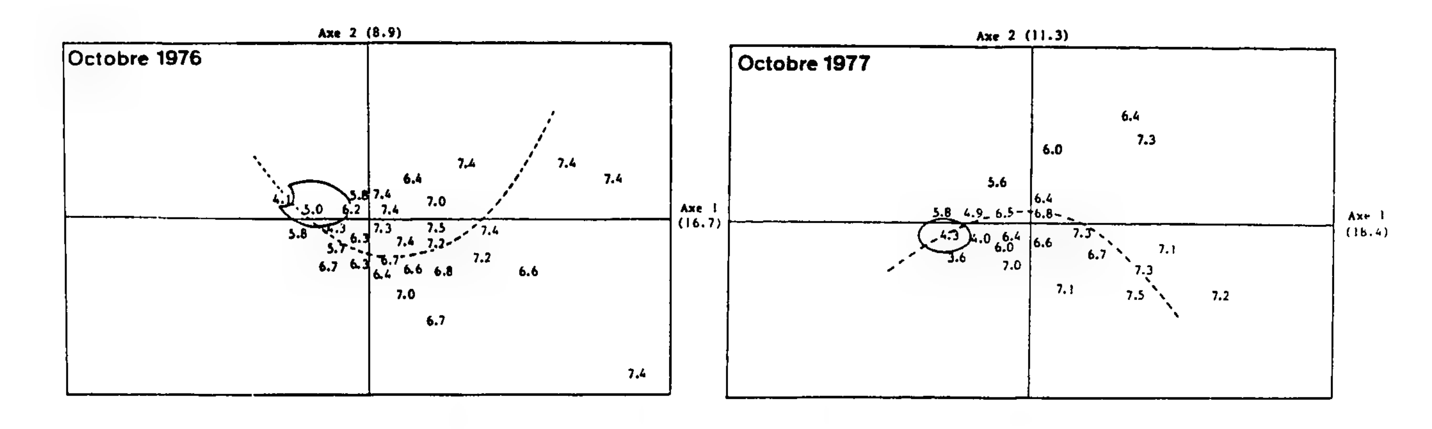


Figure 46.- ACP des comptages de diatomées, résultats réels par série de prélèvements pour 1976 et 1977. Ordination des stations : les numéros de stations ont été remplacés par les valeurs de pH. Les stations très acides forment un noyau très dense délimité par une ellipse à gauche de l'axe curvilinéaire.

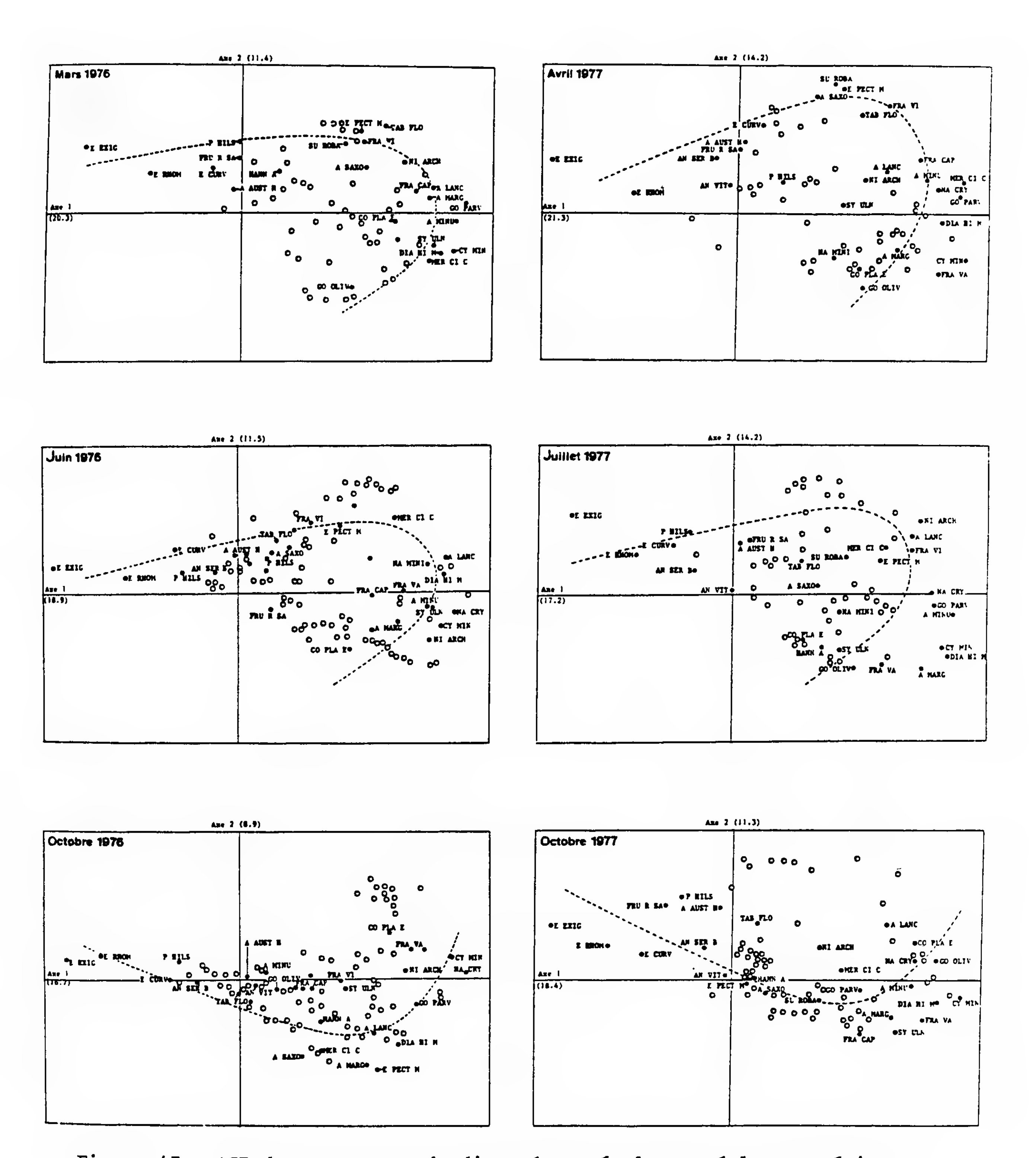


Figure 47.- ACP des comptages de diatomées, résultats réels par série de prélèvements pour 1976 et 1977. Ordination des taxons. Cercles noircis pour les taxons les plus abondants.

Résultats moyens		Résultats par séries: ordre de l'ACP					
ordre de l'ACP modifié en fonction des clusters	ordre de l'ACP	1976 mars	1976 juin	1976 oct.	1977 avril	1977 juil.	1977 oct.
90	90	90	2	144	96	96	87
96	96	96	325	96	90	90	96
87	32	87	96	90	32	32	90
144	87	32	90	325	144	87	32
32	325	325	87	32	2	325	144
325	2	144	144	87	325	2	325
2	144	2	32	2	87	144	2
395	395	104	395	409	22	409	409
409	409	395	214	395	395	275	136
22	22	409	409	22	104	395	275
136	136	136	22	136	409	11	11
104	104	22	104	104	136	136	43?
19	124	275	167	11	124	104	191
162	162	214	11	162	11	22	104
124	19	191	75	214	275	191	19
75	11	11	124	69	19	162	69
62	75	124	19	75	191	19	162
134	167	162	162	134	162	214	62
191	191	19	136	124	75	124	75
167	275	43	69	19	62	62	134
11	134	134	191	191	134	75	22
214	214	62	275	62	69	69	395?
275	62	75	62	275	43	134	124
69	69	69	134	167	214	167	167
43	43	167	43	43	167	43	214

Tableau 72.- ACP des comptages de diatomées : ordre obtenu pour les 25 taxons principaux après balayage de l'ordination dans le plan des deux premiers facteurs. Résultats moyens : ordre de l'ACP modifié en fonction du cluster analysis (= ordre du tableau 71) et ordre de l'ACP non modifié; résultats réels par série de prélèvements : ordre de l'ACP non modifié. Pour les numéros de taxons, voir liste en annexe.

- à partir de ce classement, le remaniement des dendrogrammes (figure 48) conduit à la construction de 6 tableaux de résultats réels par série de prélèvements (tableaux 73-77) sur le même plan que le tableau écologique moyen (tableau 71). Ces tableaux reprennent parmi les taxons traités, les taxons principaux qui ont été considérés dans les 6 analyses avec une abondance relative suffisamment élevée. Après cette sélection, il restait 47 taxons dans le tableau écologique moyen. Il en reste 44 dans les tableaux de 1976 (en moins : taxons 157, 127, 151, 288; en plus : taxons 145) et 40 dans les tableaux de 1977 (en moins : taxons 157, 127, 151, 133, 204, 288, 77). Les taxons manquants sont des taxons rares ou qui n'ont été comptés qu'une fois en grand nombre (par exemple taxons 127 et 151 à la station 165). Fondamentalement, le contenu en taxons de ces tableaux est donc très peu différent de celui du tableau moyen.

Analyses en composantes principales (ACP)

Pour les 6 ACP, environ 30 % de la variabilité totale sont exprimés par les deux premiers facteurs, ce qui est du même ordre de grandeur que pour l'ACP des résultats moyens.

Si l'on se réfère au tableau 72, on se rend compte que, mis à part la série d'octobre 1977, l'ordre des taxons, obtenu par balayage du plan des deux premiers facteurs, est semblable dans ses grandes lignes à celui utilisé dans le tableau moyen et établi à partir de l'analyse en composantes principales et de l'analyse par cluster. Dès lors, nous avons adopté la même disposition des taxons pour le tableau moyen et pour les 6 tableaux par série de prélèvements, ce qui permet une comparaison directe.

Nous pouvons dès à présent tirer des conclusions très positives de ces différentes analyses. Elles montrent en effet que, quel que soit le nombre de prélèvements utilisés dans l'analyse, la période de l'année où ils ont été effectués, le type de données (nombres moyens sur 430 prélèvements ou nombres réels par série) ou le nombre de taxons rares associés au fond commun de taxons abondants, les 6 ACP arrivent pour ceux-ci à un classement équivalent qui a la même signification écologique (des taxons acidophiles aux neutrophiles : figure 47). C'est le reflet de la constance, dans notre contexte régional, des exigences écologiques de ces taxons.

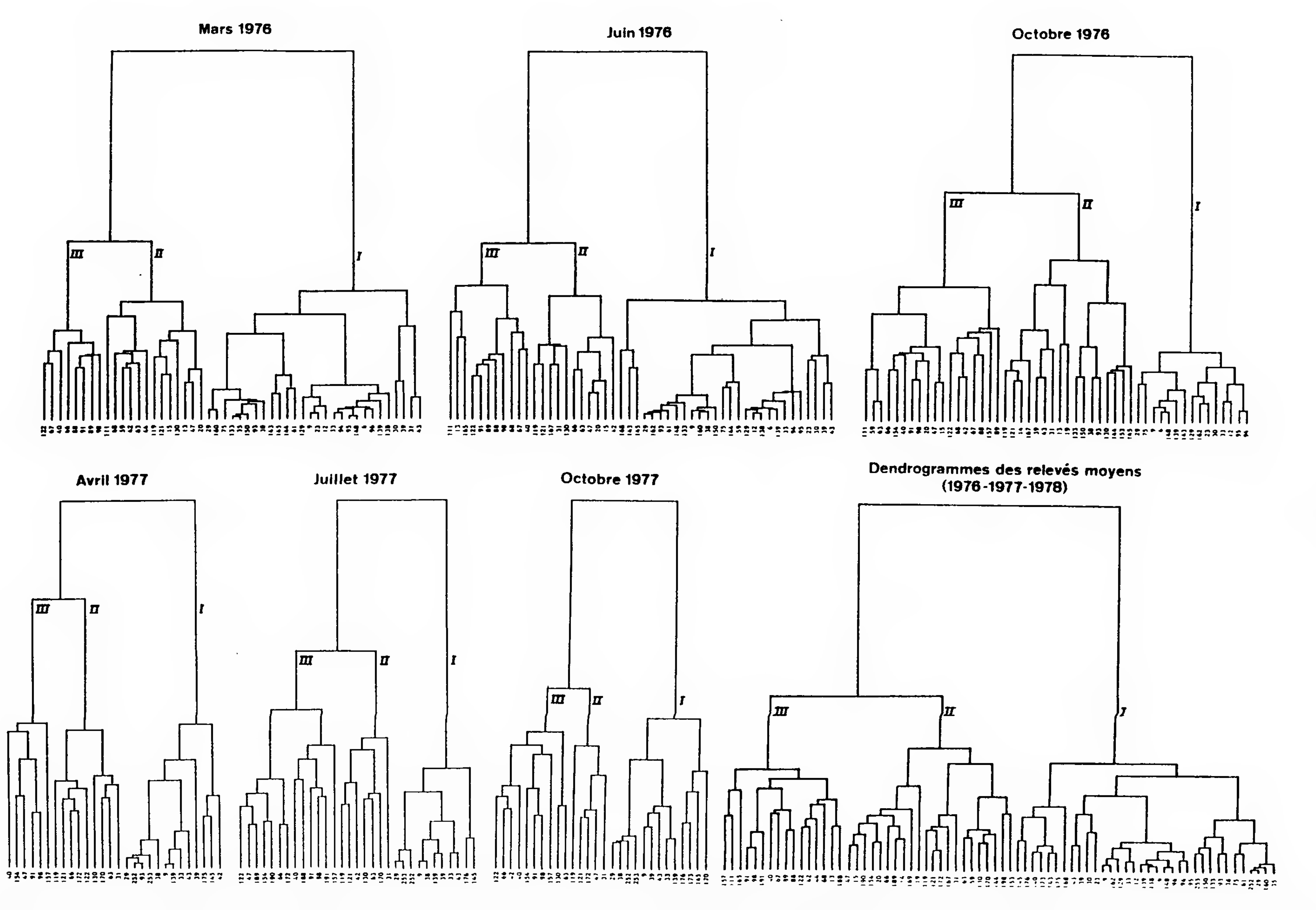


Figure 48.- Analyse par cluster sur les stations : comparaison entre le dendrogramme des relevés moyens et ceux des 6 séries principales de prélèvements effectués en 1976 et 1977. Pour les numéros de stations, voir fascicule annexe, chapitre 3.

D'autre part, si on substitue les points stations par les valeurs de pH (figure 46) comme nous l'avons fait pour l'ACP du tableau moyen, on voit que l'axe curvilinéaire correspond à une augmentation de ce paramètre de gauche à droite. Evidemment, l'ordre des stations n'est pas équivalent d'une analyse à l'autre puisque les peuplements montrent des modifications saisonnières plus ou moins parallèles aux modifications physico-chimiques.

Analyse par cluster sur les stations

Les 6 dendrogrammes obtenus pour les 6 séries précitées (figure 48) se présentent comme le dendrogramme du tableau moyen, avec 3 clusters principaux que nous marquons I, II et III par analogie au dendrogramme moyen. Ils correspondent, schématiquement, à des peuplements où E EXIG est dominant (cluster I) ou associé à A MINU et FRA CAP (cluster II) et où A MINU est dominant et FRA CAP codominant (cluster III). La signification des clusters de niveaux inférieurs sera reprise et détaillée dans les tableaux 73 à 77 par séries.

On peut aisément calculer le nombre de stations dans chacun des 3 clusters principaux en ne considérant évidemment que les stations prospectées aux 3 saisons, soit 43 stations pour 1976 et 26 pour 1977.

SERIE	CLUSTER		
	I	II	III
7603	23	12	8
06	23	10	10
10	14	13	16
7704	11	9	6
07	10	7	9
10	11	5	10

Tableau 78.- Comparaison des nombres de stations dans chacun des clusters principaux pour les 6 analyses de 1976 et 1977. (7603 = mars 1976; 7606 = juin 1976 ...).

Pour 1976, on assiste à un glissement de deux stations du cluster II au cluster III en juin, et d'autre part au glissement de stations du cluster I au II et du II au III en octobre.

Pour 1977, le cluster I reste stable et on assiste seulement au glissement du cluster II au III en juillet et octobre.

Ces glissements des clusters I au II et au III résultent de l'augmentation des taxons neutrophiles et parallèlement de la diminution des acidophiles pendant l'été et au début de l'automne. Ces variations saisonnières ont été très fortes lors de l'étiage d'octobre 1976, et beaucoup plus faibles en 1977 en raison d'une pluviosité mieux répartie; dans ce cas, les modifications des facteurs du milieu sont plus faibles et ne touchent que les types intermédiaires plus sensibles.

Nous étudierons ces variations en détail dans le chapitre 5.3.6.

Tableaux par séries (tableaux 73 à 77)

Les résultats des comptages, exprimés en nombre de valves pour un total de 500 valves comptées, sont donc rangés dans l'ordre du cluster remanié pour les stations et dans l'ordre du tableau moyen pour les taxons.

Les groupes de taxons caractéristiques pour chaque cluster de stations sont encadrés par des traits continus dans les zones où ils atteignent les valeurs les plus élevées qui semblent correspondre à un optimum, en traits interrompus ailleurs.

En procédant ainsi, on obtient des tableaux directement comparables avec le tableau écologique moyen (tableau 71). Il faut évidemment admettre de plus grands écarts pour les chiffres d'un cluster puisqu'il s'agit cette fois de nombres réels souvent plus contrastés. Nous avons indiqué dans la première colonne les chiffres des 3 clusters principaux, et dans la deuxième colonne, le numéro de la variante ou du faciès moyen (tableau 71) correspondant au peuplement en présence.

Dans la grande majorité des cas, une correspondance a été trouvée aisément, ce qui démontre la fiabilité de notre système de typologie à partir d'un tableau moyen.

En fait, 6 relevés seulement sur les 236 (soit 2.5 %) s'écartent des assemblages moyens. Ils se présentent en octobre 1976, période profondément perturbée par un étiage exceptionnel. Il s'agit des relevés des stations :

- 13 et 19 où on trouve en même temps un acidophile (A SAXO), un neutrophile dominant (A MINU) et en plus A MARG codominant et A BIOR, deux taxons neutrophiles régulièrement observés mais généralement peu abondants;

- 111, 59 et 63 (et 63 en octobre 1977) dont les peuplements très appauvris sont presque exclusivement constitués de A MINU (95 % d'abondance relative !), ce qui pourrait correspondre au faciès moyen III.10 amputé de son cortège de taxons neutrophiles, alcaliphiles et indicateurs d'eutrophisation.

Toujours en octobre 1976, on trouve un assemblage hybride entre les variantes I.5 (E EXIG, A AUST H) et II.6 (A MINU abondant, SU ROBA, GO PARV, FRA CAP, NI ARCH) et la variante II.7 est pauvre en SU ROBA, un des ses taxons caractéristiques.

Une analyse plus détaillée des 6 tableaux, par rapport au tableau moyen nous montre que les peuplements peuvent être plus ou moins riches en taxons caractéristiques, quand ceux-ci ont un développement saisonnier bien marqué (par exemple, en juin 1976, la variante I.3 est pauvre en E RHOM, la III.9 est riche en CY MIN, etc...).

En dépit d'un nombre plus faible ou plus important d'un ou plusieurs taxons au cours de l'année, nous pouvons faire correspondre les peuplements réels aux variantes et faciès décrits dans le tableau écologique moyen (tableau 71) : par exemple, dans la variante II.8, FRA CAP sera peu abondant en avril et abondant en juillet et octobre 1977.

En réalité, il en est ainsi parce que le clustering ne se fait pas seulement sur base d'un taxon abondant, mais aussi sur un assortiment de taxons plus rares, qui lui est plus ou moins constant au cours de l'année et est mis en valeur par la transformation logarithmique des données.

Il existe donc, à ce niveau, une stabilité des variantes décrites, qui rend très satisfaisante la signification de notre typologie basée sur un tableau moyen, et par là plus complète et plus synthétique. Ces éléments expliquent l'efficacité de notre système quand on l'applique à des relevés ponctuels.

Les peuplements moyens décrits correspondent donc bien à des groupements de taxons (certains abondants, d'autres plus rares), répondant à des conditions écologiques définies et que l'on peut trouver toute l'année. Notre système n'est pris en défaut que dans des conditions climatiques tout à fait exceptionnelles et pour quelques relevés seulement.

Néanmoins, un seul peuplement moyen, le I.2, n'a été observé qu'en juin et octobre 1976 et dans une station en octobre 1977 c'est-à-dire en été et en automne. Dès lors, nous considérons ce peuplement non comme une variante, mais comme un faciès saisonnier (estival) de la variante I.1 dans le premier assemblage à E EXIG.

Mars 1976

CLUSTERS PRINCIPAUX	ASSEMBLAGE MOYEN CORRESPONDANT	N° St.	90	96	87	144	32	325	2	33	395	409	22	136	104	310	132	115	346	19	162	124	176	75	62	134	191	240	145	403	18	4	167	133	11	214	275	389	204	175	77	155	161	43	210	69
I	I.1	35	500	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
		150	499	1	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
		133	500	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
		38	494	6	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-
		160	493	+	4	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
		29	488	-	10	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	+	-	+	-	1	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
		75	494	+	+	+	-	-	+	-	+	1	+	+	-	+	+	2	-	+	+	1	+	2	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-
		93	495	+	2	+	-	-	-	-	-	2	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I.3	138	338	156	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	2	+	2	-	-	+	-	-	-	-	1	-	1	+	+	-	-	-	-	-	1	-
		95	476	23	+	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		148	467	33	+	-	-	1	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		6	420	80	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
		23	472	23	5	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		12	416	77	8	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		9	471	24	5	+	-	1	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		94	433	64	1	+	-	2	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		33	455	43	1	+	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		96	468	31	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	1	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		139	327	170	+	1	-	2	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
		129	458	28	4	2	-	1	-	-	-	+	-	-	-	-	1	-	1	+	-	-	-	-	2	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
	I.5	145	84	+	-	+	-	2	412	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	1	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		143	444	1	-	-	-	6	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		61	471	4	1	-	-	+	7	-	-	1	-	-	-	-	-	2	3	3	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		144	427	7	+	+	-	3	49	-	+	1	-	+	-	2	1	+	+	6	1	-	2	-	2	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
	I.4	39	72	18	319	28	60	+	+	-	+	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		30	114	14	328	34	1	3	-	-	-	+	-	+	3	-	+	4	-	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		43	393	6	17	3	-	1	-	-	1	17	+	38	11	-	+	-	2	2	1	8	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		31	335	3	14	3	+	2	1	-	2	29	+	48	21	-	+	+	2	5	2	30	2	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
II	II.6 +CY MIN	68	139	12	+	1	+	3	-	-	22	23	4	7	8	-	2	2	+	89	20	25	-	1	69	8	2	1	4	2	8	3	+	-	3	9	5	+	-	9	-	-	+	+	+	+
		59	232	12	8	2	-	9	-	-	5	2	+	+	1	-	-	2	+	135	19	11	-	+	6	7	7	3	+	+	17	-	-	-	3	3	4	6	-	2	-	-	-	-	-	+
		63	195	10	3	+	+	1	8	-	14	4	+	4	5	6	+	+	1	117	29	29	5	+	18	2	3	1	-	1	-	-	-	-	20	8	8	+	-	+	-	-	-	-	+	+
		42	289	3	5	+	+	3	14	-	18	6	2	5	+	-	-	+	-	62	12	32	4	1	5	12	5	5	1	2	5	+	3	1	+	2	3	+	-	-	2	+	+	-	-	-
		44	84	9	4	3	+	+	4	-	2	20	+	7	7	-	-	+	+	84	30	85	15	14	18	17	23	12	1	7	5	+	3	3	16	-	24	-	+	+	-	-	-	3	+	+
		111	30	1	1	-	-	-	-	-	+	1	+	3	2	-	-	-	+	134	16	+	7	139	21	+	10	+	+	2	14	6	-	-	47	6	3	1	3	+	-	-	6	3	5	9
	II.6	130	58	+	+	+	-	-	+	-	71	3	-	+	7	+	-	2	-	358	1	-	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	1	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-
	II.7	119	101	11	7	4	5	1	4	-	263	14	17	16	6	-	+	+	1	11	8	3	1	8	2	6	1	+	+	+	-	-	-	+	2	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		121	100	+	35	1	+	1	4	-	63	7	7	18	3	-	+	+	1	112	32	93	1	7	1	4	8	+	+	1	-	-	+	-	1	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+
		15	52	2	1	1	-	2	2	-	7	6	32	10	3	-	+	+	2	219	90	42	1	5	1	7	3	+	+	+	12	-	+	-	1	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+
	II.8	47	9	1	+	+	-	+	-	-	16	2	3	10	3	-	+	+	+	226	37	146	8	17	2	4	+	+	+	+	+	-	16	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-
		13	13	+	+	+	+	1	3	-	4	2	4	5	+	-	+	+	-	265	38	60	7	85	1	5	1	+	+	+	4	-	1	3	+	-	1	-	-	-	-	+	-	-	+	-
		20	+	+	-	+	-	+	-	-	5	1	3	1	+	+	-	-	+	438	10	17	1	3	1	+	+	+	+	+	1	-	18	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+
III	III.9	122	6	1	1	1	+	+	3	-	+	2	7	+	3	-	-	+	1	160	30	20	3	108	109	20	+	1	+	+	-	-	+	6	3	2	+	14	-	-	-	-	-	-	-	+
		66	7	+	+	+	+	+	+	-	+	3	4	1	2	-	-	-	2	310	38	4	1	1	30	9	1	1	+	1	43	7	+	4	+	1	+	1	+	+	+	-	-	2[illegible]	+	5
		67	2	+	+	+	+	+	-	-	+	4	13	3	+	-	+	+	+	50	64	85	41	31	48	58	1	2	+	+	13	2[illegible]	+	6	5	1	+	34	+	+	-	-	-	+	+	1
		40	+	+	+	+	-	-	-	-	+	7	-	+	-	-	-	-	+	48	10	83	22	5	58	113	+	3	2	+	-	2	-	5	3	-	+	8	-	-	132	-	+	-	-	+
		89	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	315	5	2	1	1	51	75	1	+	2	3	+	3	+	13	+	3	+	1	-	1	-	-	-	+	4	2
		88	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	+	-	177	7	15	10	4	113	68	-	+	1	4	4	1	87	6	+	+	+	1	+	+	-	-	+	+	1	+
		98	1	+	-	-	+	-	-	-	+	1	-	+	+	+	+	+	+	143	29	+	4	22	195	34	+	+	1	+	1	4	+	-	+	+	-	2	-	-	-	7	48	-	-	2
		91	+	+	-	-	-	-	-	-	4	+	-	+	+	+	+	-	+	202	20	20	7	24	105	30	+	+	+	7	+	+	13	5	+	-	+	4	-	-	-	+	35	-	2	+

Tableau 73.- Tableau écologique de la série de prélèvements de mars 1976. Comptages de diatomées traités par l'ACP et le cluster analysis (pour les noms des taxons, voir tableau 71).

Juin 1976

CLUSTERS PRINCIPAUX	ASSEMBLAGE MOYEN CORRESPONDANT	N° St.	90	96	87	144	32	325	2	33	395	409	22	136	104	310	332	115	346	19	162	124	176	75	62	134	191	240	145	403	18	4	167	133	11	214	275	389	204	175	77	155	161	43	210	69
I	I.1	29	500	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		162	499	+	1	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		93	499	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		61	499	+	+	-	-	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		148	496	3	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		133	496	+	+	+	-	+	+	-	3	+	+	-	+	-	1	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		9	496	2	2	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
		160	497	+	3	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
		38	493	1	4	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150	494	+	5	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	2	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I.2	75	479	1	+	+	+	1	2	-	+	+	+	+	+	-	2	+	1	2	1	-	-	6	+	+	1	+	-	+	-	-	-	-	4	-	1	+	-	+	-	-	-	-	+	-
		144	458	2	2	+	+	+	9	-	+	1	-	+	+	1	1	1	2	6	+	+	+	-	3	+	1	+	+	-	-	-	-	-	3	2	4	-	-	-	+	-	-	-	-	+
		59	449	2	1	-	-	-	+	-	1	+	-	+	+	1	+	+	5	23	2	1	+	+	2	-	2	+	+	-	-	-	-	-	1	-	6	+	-	1	-	-	-	-	-	+
	I.3	129	480	16	2	+	-	1	-	-	+	+	-	+	-	+	+	1	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-
		12	485	14	1	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		138	492	8	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		6	466	34	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		139	483	15	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	1	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+
		33	454	42	+	+	+	1	-	-	-	3	-	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		94	407	84	3	2	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	2	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		95	465	20	1	+	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	+	12	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I.4	23	378	22	37	6	-	1	-	-	+	1	-	+	+	-	+	4	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		30	361	27	32	1	+	1	+	-	+	8	-	28	23	-	2	4	1	+	3	+	+	+	+	+	1	1	1	-	-	-	1	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
		39	254	16	46	9	169	1	+	-	+	3	+	+	+	-	1	1	+	1	+	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
		43	448	19	2	2	16	2	+	-	+	7	+	+	1	-	+	2	+	+	+	-	-	1	+	2	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
	I.5	168	82	+	1	+	+	104	149	-	+	33	+	131	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		143	380	1	+	+	-	5	111	-	+	+	-	+	+	+	3	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
		145	254	2	+	+	-	8	168	+	8	+	-	1	+	-	+	+	4	9	1	+	+	+	+	+	2	+	+	+	2	-	-	+	4	2	4	+	+	6	+	-	-	+	+	+
II	II.7	119	230	4	1	1	3	1	27	-	75	7	48	18	19	-	2	+	1	10	7	5	5	10	1	20	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		121	30	2	+	+	-	+	5	-	13	6	20	14	13	+	+	+	+	79	9	282	1	11	+	5	2	2	+	1	5	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		167	238	+	+	1	5	1	2	-	9	5	1	2	1	-	+	+	1	14	25	177	1	-	+	2	+	+	-	+	2	-	+	+	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
		31	77	3	6	2	+	1	+	6	3	190	2	6	8	-	-	+	-	9	7	174	5	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		130	106	+	5	+	1	+	21	-	144	2	+	+	+	+	1	1	6	170	13	14	1	-	+	+	+	+	+	1	+	-	-	-	1	7	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-
	II.8	66	2	+	+	+	+	+	+	-	1	3	4	+	1	+	+	+	+	299	9	131	2	1	5	1	2	5	+	12	13	+	+	-	+	+	9	+	-	-	-	-	-	-	-	+
		63	2	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	1	182	17	252	2	+	31	+	2	-	+	+	-	-	-	63	2	+	+	13	+	-	-	-	-	-	-	+
		47	3	+	-	+	+	+	-	-	7	+	2	3	+	-	-	-	-	349	2	85	2	3	2	+	3	+	+	+	+	-	39	-	-	-	+	-	-	1	-	-	-	-	-	+
		20	1	+	+	1	-	-	1	-	5	+	2	+	+	-	+	-	+	327	12	31	1	4	+	+	+	+	+	+	+	-	15	+	1	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
		15	7	+	-	+	-	1	2	-	5	4	3	7	2	-	+	+	+	359	18	71	2	6	+	3	1	+	+	+	+	-	6	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		42	13	-	-	-	+	-	-	-	+	7	-	+	1	-	+	+	+	155	8	10	-	3	44	2	1	1	+	+	-	+	194	+	+	+	14	+	1	+	11	-	-	-	-	-
III	III.9	122	1	-	+	-	+	+	6	+	+	2	2	1	+	-	+	+	+	252	14	43	3	11	73	24	2	2	+	7	2	+	24	21	2	3	7	+	-	-	-	-	-	+	+	+
		91	+	+	+	+	-	+	2	-	1	1	+	+	+	1	+	-	+	273	2	40	2	14	60	54	1	+	+	6	2	+	14	7	+	-	+	3	-	-	-	4	8	-	+	3
		89	4	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	171	6	19	4	3	155	27	23	3	3	3	13	1	18	13	2	-	+	2	-	-	-	+	5	+	+	5
		88	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	228	2	10	-	+	87	113	3	+	+	1	4	+	21	+	+	-	18	+	-	-	-	-	+	+	+	+
		98	1	+	+	+	+	+	2	+	2	1	+	3	2	-	-	+	+	285	10	4	+	23	39	70	1	+	+	1	2	+	2	+	1	+	2	3	-	-	-	10	9	+	+	1
		68	1	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	114	9	9	-	1	27	5	3	2	+	+	-	1	-	2	+	+	19	1	2	1	-	-	-	2	+	1
		67	+	-	+	+	-	-	-	-	+	1	-	+	7	+	-	+	-	86	20	32	-	29	93	12	62	5	2	2	-	5	5	24	3	11	33	14	6	5	1	-	-	5	+	+
		40	4	+	+	+	-	-	-	-	2	3	-	1	+	-	+	-	-	96	23	42	-	9	102	45	12	6	12	+	4	1	+	5	1	2	13	6	-	19	89	-	-	-	-	+
	III.10	111	1	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	3	+	+	2	-	-	120	34	3	2	56	16	+	10	10	6	13	10	9	-	+	20	9	32	-	36	-	-	+	7	+	20	12
		13	9	1	-	+	+	+	-	-	1	2	4	20	4	+	+	3	7	37	170	23	6	145	2	4	20	2	1	+	2	-	-	-	1	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	1
		165	10	+	2	2	+	+	-	-	-	6	-	10	8	1	4	5	4	49	59	4	10	28	20	13	5	7	1	3	+	+	-	11	28	32	4	+	-	+	-	-	-	-	-	13

Tableau 74.- Tableau écologique de la série de prélèvements de juin 1976. Comptages de diatomées traités par l'ACP et le cluster analysis (pour les noms des taxons, voir tableau 71).

Octobre 1976

CLUSTERS PRINCIPAUX	ASSEMBLAGE MOYEN CORRESPONDANT	N° St.	90	96	87	144	32	325	2	33	395	409	22	136	104	310	332	115	346	19	162	124	176	75	62	134	191	240	145	403	18	4	167	133	11	214	275	389	204	175	77	155	161	43	210	69
I	I.1(2)	29	499	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	1	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		75	469	6	-	-	-	+	1	-	8	+	+	-	-	-	+	-	+	5	+	11	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	I.3	9	480	18	1	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	1	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		6	397	103	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		148	462	37	+	-	-	+	1	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		139	367	127	+	+	-	1	5	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		143	471	12	-	-	-	2	11	-	1	-	-	-	-	+	+	-	+	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I.4	129	446	42	4	1	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	5	-	+	2	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		162	450	26	21	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		23	432	39	22	1	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		30	419	38	21	+	+	+	+	-	+	1	+	4	5	+	1	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		33	364	124	2	2	2	2	-	-	+	2	-	-	-	-	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		12	407	64	8	+	13	2	-	-	-	3	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		95	177	315	2	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		94	223	266	+	4	-	2	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II	I.2	133	276	3	+	+	-	+	-	+	17	+	+	+	2	-	+	-	+	182	+	+	+	-	+	-	+	+	-	17	2	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		150	224	10	+	+	-	1	-	-	+	+	-	-	+	-	2	-	-	258	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I.4	38	350	18	1	9	56	1	-	-	-	+	-	-	-	-	2	-	+	58	2	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		93	299	+	+	3	98	4	-	-	+	+	-	-	-	-	3	+	-	61	3	2	-	-	+	-	1	-	-	-	-	-	-	+	+	-	16	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	I.5+II.6	130	126	+	+	+	1	6	7	-	16	+	1	+	3	+	+	-	+	296	22	7	-	-	+	1	3	1	+	+	-	-	-	+	+	-	6	+	+	+	+	-	-	-	-	-
		144	213	+	-	-	+	5	24	-	30	+	-	+	3	2	10	-	-	97	19	57	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	+	-	21	-	-	+	-	-	-	+	-	-
		153	64	+	+	-	-	2	16	-	59	-	-	+	+	-	+	-	-	243	18	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		145	170	1	+	+	-	12	155	-	21	+	-	+	+	-	+	+	+	51	49	4	-	-	1	2	1	3	+	+	-	-	-	+	+	7	18	+	-	1	-	-	-	+	+	+
	II.7	39	22	25	1	8	5	+	-	1	+	2	+	-	+	-	-	+	-	115	4	310	-	-	+	+	3	-	-	1	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		43	11	16	+	+	31	1	-	-	+	43	-	-	-	-	+	-	+	28	+	368	-	1	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		31	25	2	5	+	3	1	-	36	4	12	5	4	2	-	-	+	+	77	9	270	+	-	-	-	+	+	-	36	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		167	30	+	8	1	2	+	5	-	3	85	30	+	21	+	+	+	+	111	19	172	-	-	-	+	1	+	+	-	3	-	-	+	+	-	2	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		14	12	+	+	+	+	+	-	-	1	17	3	+	4	-	-	+	-	180	15	267	+	+	+	-	-	1	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
		121	10	1	6	+	-	+	-	-	1	4	3	2	20	+	+	+	+	341	22	75	3	2	+	-	+	1	+	7	1	-	-	-	+	-	1	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		119	87	+	+	+	+	+	+	-	+	+	4	+	45	-	-	+	-	278	71	12	+	+	+	-	+	+	-	+	3	-	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-
	?	19	2	1	+	+	-	+	-	-	+	+	24	4	2	-	+	+	+	193	+	3	+	6	+	+	+	-	+	+	227	27	+	+	6	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	1
		13	9	2	+	1	1	+	-	-	2	1	16	9	9	-	+	-	+	163	46	24	4	60	3	+	25	8	2	+	42	12	-	+	6	7	26	-	-	+	-	-	-	-	-	3
III	II.8	66	4	+	+	+	+	+	-	1	1	2	6	+	38	-	+	-	1	252	26	93	+	+	23	15	13	1	+	12	3	-	+	+	+	2	5	2	+	-	-	-	-	+	-	-
		154	+	-	-	+	+	-	-	-	1	+	3	+	9	-	+	+	+	173	7	232	+	2	23	4	4	+	+	13	2	-	6	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
		40	+	+	+	+	-	-	-	-	+	1	-	2	+	+	+	-	+	103	64	209	+	3	12	56	7	1	+	5	3	-	+	+	+	+	2	+	-	1	4	-	-	3	-	+
		91	+	+	1	+	-	-	-	-	+	1	1	+	+	+	-	-	+	320	9	102	1	1	24	6	1	1	+	2	1	+	6	-	+	-	5	1	+		-	2	+	+	+	4
		98	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	355	4	70	-	+	15	3	2	+	+	27	2	-	2	-	-	-	1	+	-	-	-	11	+	-	-	+
		20	+	-	-	-	-	-	-	-	+	1	+	+	+	-	-	-	-	170	1	187	+	+	21	91	5	+	-	+	+	-	16	3	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+
		47	1	+	+	1	-	+	-	-	+	2	1	2	+	+	+	+	-	173	5	275	+	1	2	-	+	+	+	12	+	-	20	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		15	+	+	+	+	-	+	-	-	+	2	5	+	3	+	-	+	+	118	9	341	1	1	+	-	2	1	+	+	4	-	7	-	+	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	III.10 ?	111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	463	4	-	-	+	11	-	+	+	+	1	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	21	+	+	+	1
		59	+	-	+	-	-	+	+	-	1	-	-	-	-	+	+	-	+	490	+	8	-	-	+	-	+	+	-	1	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
		63	+	-	+	-	-	-	-	-	2	-	-	+	2	+	+	-	+	476	3	12	+	+	+	-	1	+	-	2	+	-	-	+	+	-	1	+	-	-	-	-	-	-	-	+
	III.9	122	1	2	1	+	+	+	-	-	+	1	2	+	5	-	+	-	+	106	37	126	1	7	89	6	14	2	2	+	16	2	+	43	8	1	9	2	-	-	-	+	-	-	-	3
		68	5	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	319	16	23	-	+	61	20	1	-	-	1	1	-	-	31	-	1	12	+	-	+	-	-	-	1	-	1
		42	+	+	1	-	+	+	1	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	301	28	11	+	+	119	15	9	+	+	+	5	-	+	6	-	-	+	+	+	+	2	-	-	+	-	-
		67	+	-	+	-	-	-	-	-	-	1	+	+	+	-	-	+	+	148	26	59	-	2	97	16	43	4	+	2	-	1	-	12	+	+	28	1	14	+	-	-	-	7	+	2
		88	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	199	29	66	-	+	27	21	32	3	5	7	1	2	+	+	+	3	74	+	3	+	-	+	3	+	-	+
	III.10	157	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	1	1	-	-	+	-	191	11	9	+	2	68	3	11	+	+	3	+	1	-	+	6	-	2	+	4	-	-	-	+	149	2	11
		89	+	+	+	-	-	-	3	-	-	1	-	+	14	+	+	+	+	222	32	36	4	1	31	3	11	1	+	3	8	2	7	4	1	17	11	+	+	-	-	-	1	2	1	7

Tableau 75.- Tableau écologique de la série de prélèvements d'octobre 1976. Comptages de diatomées traités par l'ACP et le cluster analysis (pour les noms des taxons, voir tableau 71).

Avril 1977

CLUSTERS PRINCIPAUX	N° DE VARIANTE OU DE FACIES MOYEN CORRESPONDANT	N° St.	90	96	87	144	32	325	2	33	395	409	22	136	104	310	332	115	346	19	162	124	176	75	62	134	191	240	403	18	4	167	11	214	275	389	175	155	161	43	210	69
I	I.1	29	500	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		252	498	+	2	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		253	497	+	1	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	+	1	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
		93	499	+	1	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
		38	494	3	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	1	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	+	-	-
	I.3	9	466	34	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-
		139	466	34	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
		33	474	23	+	+	+	+	-	-	+	3	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
		43	416	74	3	1	1	2	-	-	+	+	-	+	1	-	+	-	+	+	-	1	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
	I.4	39	231	195	9	18	35	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	7	+	5	-	-	+	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I.5	175	445	11	+	+	+	+	38	-	+	1	-	5	+	-	-	-	1	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		145	169	+	+	+	-	6	325	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-
		47	328	+	+	+	+	3	122	-	1	2	+	2	+	-	+	+	+	8	9	1	11	3	+	3	1	1	+	-	-	+	+	-	3	+	+	-	-	-	-	-
II	II.6	130	104	+	8	+	+	8	6	-	13	1	3	7	3	+	2	30	+	249	14	4	3	+	+	+	+	-	-	-	-	-	13	-	2	-	29	-	-	-	+	-
		170	115	2	1	1	+	1	+	-	5	2	+	1	+	-	+	+	+	333	5	7	3	-	3	-	-	-	+	1	-	+	5	4	12	+	-	-	-	-	+	-
		63	211	3	1	+	+	4	2	-	3	1	+	1	10	-	+	+	+	211	7	7	7	+	1	-	1	+	1	-	-	-	5	-	+	+	5	-	-	-	-	+
		31	411	4	2	2	1	5	+	2	2	11	1	10	5	-	-	+	+	10	18	14	1	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	II.7	119	127	14	3	1	5	3	28	-	185	10	35	22	18	-	+	+	+	13	3	10	3	6	+	+	+	+	+	-	-	-	1	-	2	+	-	-	-	-	-	-
		121	98	1	3	15	1	4	8	+	30	3	25	26	28	-	+	1	+	196	6	33	+	14	+	+	2	+	+	-	-	+	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		66	218	3	2	2	1	3	7	-	4	7	7	8	5	-	+	-	+	140	15	48	12	1	2	-	3	+	1	-	4	+	3	-	1	+	-	-	-	-	-	-
		172	297	+	2	+	-	5	24	-	9	6	60	12	11	-	+	+	+	25	8	29	4	2	1	-	1	+	+	+	-	2	2	-	+	-	-	-	-	-	-	+
		122	81	1	2	1	+	4	12	-	29	2	11	22	10	-	+	-	+	119	15	24	8	117	13	1	11	2	+	-	2	+	6	-	4	+	+	+	-	-	-	+
	II.8	40	1	+	2	+	-	+	-	-	1	7	-	6	1	+	+	+	-	33	138	36	32	14	10	152	10	3	+	4	4	-	1	-	4	3	3	-	-	+	-	-
		154	1	1	+	+	+	+	-	-	+	2	+	+	+	-	-	-	+	214	17	137	6	27	1	-	1	+	+	1	-	89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		47	16	2	+	1	+	+	-	-	5	9	1	7	10	-	-	+	+	261	3	112	7	39	2	4	+	+	2	5	-	9	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+
III	III.9	91	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	1	+	+	1	297	11	13	1	83	7	-	+	+	2	2	+	31	+	-	-	+	-	5	3	-	+	+
		98	+	+	-	+	+	-	-	-	1	+	+	1	+	-	-	+	+	274	40	6	2	43	12	-	+	+	+	2	+	25	+	-	-	+	-	12	55	+	-	+
	III.10	157	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	3	+	-	+	1	+	106	13	6	5	67	26	-	3	+	+	+	1	+	13	8	+	23	-	+	154	33	15	7

Juillet 1977

CLUSTERS PRINCIPAUX	N° DE VARIANTE OU DE FACIES MOYEN CORRESPONDANT	N° St.	90	96	87	144	32	325	2	33	395	409	22	136	104	310	332	115	346	19	162	124	176	75	62	134	191	240	403	18	4	167	11	214	275	389	175	155	161	43	210	69
I	I.1	29	496	-	4	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		253	496	+	4	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	1	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		252	500	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I.3	9	486	10	4	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		38	491	7	2	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		139	475	21	+	+	-	2	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		39	463	34	1	+	2	1	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		33	444	36	1	+	14	2	-	-	-	1	-	-	-	+	1	1	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		43	445	44	1	1	2	1	+	-	-	2	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I.5	176	421	+	1	+	-	2	74	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	1	-	+	+	+	-	-	-	-	-
		145	425	3	+	-	+	20	53	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-
II	I.6	130	327	3	1	1	1	+	3	-	31	5	+	4	+	1	2	3	5	83	5	7	+	-	+	+	2	1	+	-	-	-	2	-	3	+	1	-	-	-	-	-
		63	283	+	2	+	+	+	3	-	+	+	+	1	1	-	+	1	3	157	7	3	+	1	2	+	10	+	+	-	-	-	9	+	3	2	1	-	-	+	-	+
		170	348	3	2	1	+	5	4	-	2	6	+	3	6	7	+	2	+	46	3	3	3	-	+	-	1	+	+	-	-	-	3	2	27	3	-	-	-	-	-	-
	I.7	31	174	1	8	10	1	5	+	63	6	177	+	+	13	-	-	-	+	1	25	12	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		119	283	8	1	3	3	3	24	+	42	17	19	6	12	-	-	+	+	42	2	11	3	3	+	+	+	+	+	-	-	+	6	-	2	-	-	-	-	-	-	+
		121	85	3	1	+	1	2	9	-	6	9	19	9	8	-	-	+	+	110	12	216	1	5	+	+	1	+	+	-	-	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-	+
		42	168	+	+	+	+	4	186	-	23	4	1	2	3	-	-	+	+	29	11	22	9	5	3	2	5	11	1	-	-	3	+	-	2	-	-	-	-	-	-	-
III	II.8	122	2	-	-	+	-	-	-	-	7	1	+	-	+	-	-	-	+	81	6	332	+	2	2	1	1	+	+	+	-	64	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+
		47	15	+	+	+	+	+	-	+	3	19	3	+	2	-	-	+	1	192	10	241	1	+	+	+	2	1	1	+	-	8	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-
		189	11	+	1	+	+	+	-	4	3	10	2	1	+	-	-	-	1	263	5	178	+	+	3	1	3	+	4	+	-	3	-	-	4	-	-	-	9	-	-	1
		154	2	2	+	+	-	+	-	-	4	4	1	1	1	+	+	-	+	201	12	249	3	6	+	6	2	+	+	1	-	3	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+
		190	6	1	+	+	+	+	-	-	5	1	1	6	2	-	-	+	4	251	19	150	3	14	+	16	3	2	1	+	+	5	+	-	3	-	-	+	-	-	-	+
		66	37	+	+	+	+	1	2	-	+	6	2	+	1	7	+	+	+	117	4	322	+	+	+	2	+	1	+	1	+	+	+	+	4	+	-	-	-	-	-	-
		172	30	+	+	+	-	3	-	-	-	14	1	+	1	-	+	+	+	8	2	442	+	+	+	-	1	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	III.9	41	4	+	4	+	+	+	-	-	+	11	+	+	2	+	+	+	+	220	68	84	+	5	15	50	7	10	+	2	+	+	2	+	12	-	1	-	-	-	-	+
		188	7	2	+	+	1	-	-	-	2	1	1	3	2	-	+	+	+	237	51	22	8	45	38	+	9	7	1	8	3	+	10	1	9	+	-	+	+	+	-	1
		91	1	+	+	+	+	+	-	-	2	1	+	+	4	-	-	+	+	306	8	42	+	13	6	16	+	+	83	5	+	1	+	+	-	1	-	+	1	-	+	+
		94	1	+	+	+	+	-	-	-	2	1	-	3	+	-	+	+	+	322	7	84	+	17	22	12	+	+	+	2	+	6	+	-	2	+	-	1	6	-	-	5
		191	7	+	+	+	-	+	-	-	2	1	3	1	4	-	+	+	1	259	36	47	+	20	13	12	5	1	3	3	-	7	2	-	+	+	+	51	9	+	-	+
	III.10	157	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	1	-	-	-	+	339	+	2	+	3	13	2	3	1	1	4	+	+	2	47	2	+	-	+	4	61	4	1

Tableau 76.- Tableau écologique de la série de prélèvements d'avril et de juillet 1977. Comptages de diatomées traités par l'ACP et le cluster analysis (pour les noms des taxons, voir tableau 71).

Octobre 1977

CLUSTERS PRINCIPAUX	N° DE VARIANTE OU DE FACIES MOYEN CORRESPONDANT	N° St.	N° DES TAXONS →																																							
			90	96	87	144	32	325	2	33	395	409	22	136	104	310	332	115	346	19	162	124	176	75	62	134	191	240	403	18	4	167	11	214	275	389	175	155	161	43	210	69
I	I.1	29	500	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		38	491	3	4	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
		252	489	+	7	+	+	2	-	-	+	1	-	+	+	-	1	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		253	490	1	1	1	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	6	+	1	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-
	I.3	33	350	137	1	1	+	2	-	-	+	10	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		139	187	312	+	1	-	1	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	I.4	9	364	106	29	+	+	2	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
		39	303	142	26	6	18	1	-	-	+	1	1	+	+	-	+	-	-	1	+	1	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
		43	454	8	2	3	28	1	-	-	+	1	-	1	2	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	I.5	176	337	4	2	+	-	4	135	-	+	+	+	+	+	1	+	3	-	1	1	-	+	+	+	+	2	+	+	-	-	-	6	-	1	+	2	-	-	+	1	-
		173	399	42	+	+	-	4	53	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	2	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
		145	364	6	4	2	-	9	39	-	1	3	-	+	+	-	+	2	-	9	9	9	+	+	1	3	2	+	1	-	-	-	9	-	2	+	3	-	-	1	2	+
		170	266	12	2	6	2	7	21	-	1	19	-	5	3	4	9	7	-	113	2	-	+	-	1	+	2	+	+	-	-	-	1	-	4	+	-	-	-	+	-	-
III	I.2	130	221	+	+	1	+	+	-	-	5	+	+	+	+	+	+	-	-	255	11	+	+	-	-	-	+	+	-	1	-	+	+	-	3	+	1	-	-	+	-	-
	III.10 ?	63	7	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	1	+	+	-	456	8	3	+	+	13	-	2	+	+	+	-	-	1	-	3	+	+	-	-	+	+	-
II	II.7	119	179	4	11	+	2	7	8	-	120	8	62	11	14	-	1	+	-	2	26	12	8	1	+	-	5	2	+	+	-	-	+	-	7	-	-	-	-	+	-	-
		121	23	4	6	1	2	+	3	-	6	7	7	11	27	+	+	-	-	230	29	138	5	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
		172	8	+	1	+	-	2	-	-	4	4	4	7	8	-	+	+	-	116	99	242	+	2	+	+	+	+	+	+	-	+	+	3	3	-	-	-	-	-	-	-
		47	9	+	1	1	+	1	1	-	2	16	1	+	6	-	+	-	-	91	21	338	+	+	+	+	+	+	+	1	-	11	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
		31	137	+	1	5	8	6	+	85	3	56	3	+	15	-	-	+	-	65	37	77	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-
	II.8	122	15	+	+	+	+	+	-	-	16	2	1	1	5	-	+	+	-	174	32	177	3	19	22	+	6	1	3	4	1	1	2	-	6	+	+	+	-	+	+	2
		66	8	+	+	+	+	1	1	-	4	2	5	+	7	+	1	+	-	139	10	282	1	+	1	+	4	2	1	12	+	+	+	-	11	+	-	-	-	-	-	-
		42	7	2	+	1	+	+	18	-	5	5	1	+	1	-	+	+	-	190	23	204	1	1	2	9	7	9	1	3	-	2	+	-	3	+	+	-	-	+	-	+
		40	1	+	1	+	+	2	-	+	20	4	-	+	2	-	+	-	-	199	34	104	+	+	17	76	16	5	2	2	+	-	+	-	4	1	2	-	-	+	-	-
		154	+	+	+	+	-	-	-	-	1	1	+	+	6	-	+	+	-	158	2	277	+	+	1	14	+	1	25	+	-	9	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
III	III.9	91	+	+	+	+	+	+	-	-	2	+	+	+	2	+	+	1	-	276	22	73	+	4	33	43	1	+	12	6	+	+	2	-	1	-	-	6	+	+	+	4
		98	1	+	+	+	+	+	-	-	5	+	+	2	3	-	-	+	-	357	4	22	+	2	10	51	2	+	24	1	+	+	+	-	-	1	+	3	-	-	+	4
	III.10	157	3	+	+	+	1	-	-	-	+	2	+	+	2	-	+	+	-	290	22	6	2	9	30	26	13	2	2	1	1	+	9	-	+	+	-	-	3	36	7	7

Tableau 77.- Tableau écologique de la série de prélèvements d'octobre 1977. Comptages de diatomées traités par l'ACP et le cluster analysis (pour les noms des taxons, voir tableau 71).

5.3.5.5. Comparaison de notre typologie et des typologies précédemment décrites pour la région étudiée

Les associations de SYMOENS (1957)

SYMOENS (1957) a publié une synthèse de la végétation algale de l'Ardenne et des régions voisines. Il distingue 5 associations de diatomées, correspondant à des types chimiques d'eau bien définis.

Il nous a paru intéressant de comparer nos variantes et faciès avec cette classification phytosociologique, même si cet auteur a effectué peu de relevés en haute Ardenne. Nous avons évidemment écarté des peuplements d'eau beaucoup plus minéralisée, notamment en calcium, et qui sortent du cadre de notre étude (association à *Navicula viridula* et association d'algues d'eau vive à *Diatoma vulgare* et *Melosira varians*).

a) Association des eaux courantes de tourbières à *Eunotia exigua* et *Pinnularia subcapitata* SYMOENS

Cette association est décrite et illustrée par un relevé dans la Höegne, près du pont du Centenaire à Hockai. Nous avons également effectué des prélèvements dans cette rivière, 1.4 km en amont (station 138) et 3.5 km en aval (station 139) du pont du Centenaire.

Remarque : *Frustulia rhomboides* var. *crassinervia* (FRU R CR) au lieu de *Vanheurckia crassinervia*, *Eunotia curvata* (E CURV) au lieu de *Eunotia lunaris*, *Eunotia rhomboidea* (E RHOM) vraisemblablement au lieu de *Eunotia veneris* (et var.).

Pinnularia subcapitata (P SUBC) intervient dans le nom de l'association et *P. subcapitata* var. dans le tableau de relevé. Il s'agit sans doute de la var. *hilseana* (P HILS), actuellement dénommée *P. hilseana*. Il nous paraît important de faire la distinction entre ces deux taxons qui, d'après nos observations, ont une écologie différente : P HILS est limité aux eaux acides et propres et P SUBC est abondant dans les eaux acides modérément polluées (voir chapitre 5.3.7.).

L'association de SYMOENS est caractérisée par la dominance d'E EXIG et E RHOM et l'abondance de E CURV alors que *P. subcapitata* var. (= P HILS ?) est assez commun. Sauf pour ce dernier taxon, elle correspond à nos relevés moyens de la variante I.3 où se trouvent classées les stations 138 et 139.

SYMOENS décrit aussi, dans le même ouvrage, l'association des eaux courantes de tourbières à *Microspora tumidula* SYMOENS 1954 et donne 6 relevés d'algues macroscopiques et de diatomées qui correspondent bien à notre variante I.4.

Il apparaît donc que l'association à E EXIG et P SUBC ne correspond qu'à nos deux variantes I.3 et I.4, mais que les variantes I.1 et I.5 et le faciès I.2 en sont bien distincts.

b) Association d'algues d'eau vive à *Diatoma hiemale* et *Meridion circulare* (KURZ 1922) DENIS 1924

D'après le tableau de SYMOENS, cette association, très riche en taxons, rassemble des acidophiles, des neutrophiles, des basophiles et des taxons d'eau eutrophe.

Les rivières que nous avons étudiées appartenant à la zone à truites (HUET, 1950), il nous faut comparer nos relevés avec les 4 relevés détaillés donnés par SYMOENS pour cette zone. Parmi ceux-ci figure la Warche à Reinhardstein, en aval du barrage de Robertville. Géographiquement, c'est la station la plus comparable avec les nôtres, mais sa position en aval du lac peut modifier la composition en espèces : notamment, l'abondance de *Melosira varians* est probablement liée à l'existence du lac, puisque c'est un taxon plutôt planctonique (GERMAIN, 1936; HUBER-PESTALOZZI, 1942; HUSTEDT, 1959) qui peut donc se retrouver en aval par dérive.

Restent alors 3 relevés (ruisseau d'Anlier et Lesse sur Siegenien, ry de Vresse sur Gedinnien) qui, en raison de l'abondance de DIA HI M, CY MIN et CO PLA E, de la rareté des taxons acidophiles (E EXIG, TAB FLO, E PECT M) et de l'absence de FRA CAP, correspondent à notre peuplement moyen III.10. Nous avons considéré ce dernier comme un faciès d'altération des variantes naturelles II.8 et III.9 sur Siegenien et Emsien à cause de la présence de taxons saprophiles (A LANC, SU OVA) et calciphiles (CO PLA E, CY SINU) qui sont indicateurs d'une eutrophisation sur ces substrats géologiques. Effectivement, les 3 stations de SYMOENS semblent bien être plus mésotrophes que les nôtres. La minéralisation globale du type ardennais de SYMOENS est proche de 1.5 méq/l en moyenne, soit du même ordre que celle des stations où on trouve le faciès III.10, alors que pour les variantes II.8 et III.9, la minéralisation oscille entre 0.6 et 1.1 méq/l dans des conditions climatiques normales.

Outre le développement beaucoup moins important de DIA HI M et de MER CI, tous nos relevés s'écartent de ceux de SYMOENS par l'abondance simultanée de FRA CAP et d'A MINU dès que le pH dépasse une valeur de 6 alors que dans les listes de cet auteur, A MINU n'est commun que dans le ruisseau d'Anlier et n'est pas noté dans les deux autres et que FRA CAP n'est signalé dans aucun des trois ruisseaux. Il est cité comme assez commun dans la Warche, à Reinhardstein, mais sans A MINU.

Signalons encore que nous avons fait la distinction entre *Meridion circulare* (MER CI) et sa variété *constrictum* (MER CI C) car, d'après nos relevés, MER CI est un taxon mésotrophe à tendance saprophile qui supporte une pollution organique modérée alors que MER CI C est oligotrophe et plutôt saproxène. De la même façon, nous avons compté séparément *Hannaea arcus* (HANN A = *Ceratoneis arcus* dans SYMOENS, 1957) d'eau propre et sa variété *amphioxys* (HANN A A) d'eau modérément polluée.

Typologie en 5 groupes (LECLERCQ, 1976, rapport IRSIA non publié)

Dans un rapport, issu d'une première année de recherche consacrée à une prospection très large des cours d'eau du nord du massif ardennais, nous avons décrit 5 groupes de taxons à partir d'une analyse des correspondances portant sur 105 prélèvements de mars 1976 et 147 taxons.

Nous donnons ci-dessous les taxons distinctifs retenus pour caractériser ces 5 groupes et leur correspondance avec nos variantes et faciès moyens (tableau 79)

GROUPE	COMPOSITION	ECOLOGIE	Correspondance avec nos variantes et faciès
1	E EXIG, E RHOM	eau acide	I.3
2a	E CURV, FRU R SA	eau de type intermédiaire	I.4
2b	SU ROBA, NA ANGU, E PECT, E SEPT, E FLEX, E TENE, TAB FLO,...		II.6-7
3	DIA HI M, P SUBC, E PECT M, FRA CAP, A MINU, NA RHYN,...	eau neutre	II.8 et III.9
4	NI ROMA, CY SINU, NI DISS, CO PLA E, MEL VAR,...	eau de type intermédiaire	(III.10)
5	NI ROMA, AMPHO OV, NI FRUS,...	eau calcaire	-

Tableau 79.- Comparaison entre nos typologies de 1976 (rapport IRSIA non publié) et de 1984.

Cette première synthèse nous avait permis de préciser la composition de groupements de types intermédiaires entre les types fagnard et ardennais (groupes 2a et 2b), groupements dont nous avons déjà montré l'existence dans la Roer (LECLERCQ, 1977).

En dehors de E PECT M, taxon qui devrait plutôt être classé dans le groupe 2b, et de P SUBC, taxon toujours peu abondant et à distribution très large le rendant peu discriminant dans une typologie, on remarque le parallélisme très satisfaisant entre les groupes issus d'une analyse des correspondances d'une seule série de prélèvements (mars 1976) et les variantes mises en évidence à partir de résultats moyens sur trois années, par d'autres types d'analyses (analyse en composantes principales et en cluster). De plus, le traitement des résultats de mars 1976 incluait des stations modérément polluées et d'autres calcaires dont la composition floristique très différente aurait pu perturber l'ordre des autres taxons.

Dans ces conditions, la similitude entre ces deux typologies est un élément très positif qui démontre la validité et la stabilité de nos 10 variantes et faciès moyens.

Nous avions évidemment insisté, à cette époque, sur le caractère provisoire de cette classification en 5 groupes, plus contractée puisque basée sur une seule série hivernale de prélèvements, donc sur une connaissance encore partielle des exigences écologiques des taxons dans la région étudiée et ne tenant pas compte des variations saisonnières des peuplements.

Classification en 5 biotypes (DESCY, 1979)

Par la suite, DESCY a décrit, en 1979, 5 biotypes, mais pour l'ensemble du bassin de la Meuse belge.

Grâce aux échantillons transmis par Descy, nous avons pu établir la correspondance avec nos déterminations: *Eunotia rhomboidea* pour *E. veneris* et *Surirella roba* pour *S. linearis*.

Nous reprenons dans le tableau 80 la composition de ces biotypes, leur écologie et la correspondance avec notre typologie.

BIOTYPE DESCY(1979)	COMPOSITION	ECOLOGIE	CORRESPONDANCE AVEC NOTRE TYPOLOGIE
1	*Eunotia exigua* (EEXIG), *Peronia heribaudii* (PEFIBU), *Anomoeoneis serians* var. *brachysira* (ANSERB)	pH±4	I.1+2+4 ?
2	*Eunotia veneris* (ERHOM), *E. lunaris* (ECURV), *E. tenella* (ETENE), *Tabellaria flocculosa* (TABFLO), *Surirella linearis* (SUROBA)	pH4-6	I.3+4 et II.6-7 ?
3	*Pinnularia subcapitata* (PSUBC), *Navicula rotaeana* (?), *Diatoma hiemale* var. *mesodon* (DIAHIM), *Achnanthes microcephala, Fragilaria capucina* (FRA CAP), *Nitzschia hantzschiana* (NI HANT)	pH6-7	II.8 et III.9
4	*Cocconeis placentula* (COPLA), *Nitzschia fonticola, Nitzschia dissipata* (NIDISS), *Cymbella sinuata* (CYSINU)	pH7-7.5	III.10
5	taxons d'eau calcaire	pH 7.5	-

Tableau 80.- Comparaison entre les biotypes de DESCY (1979) et notre typologie.

Le biotype 1 ne correspond à aucune de nos variantes d'eau acide car il rassemble des taxons d'écologie diverse. En effet, nous avons éloigné PE FIBU, taxon certes acidophile, mais que nous avons trouvé mieux développé dans des eaux acides modérément polluées : il ne peut donc pas être considéré comme un taxon caractéristique des eaux naturelles où, de surcroît, il est toujours très rare. D'autre part, dans nos relevés, AN SER B atteint son optimum dans des eaux modérément acides en été et en automne, parfois en même temps que des neutrophiles comme A MINU et FRA CAP. Dès lors, nous pensons que ces deux taxons ne peuvent servir à caractériser le biotype 1.

Par contre, il est étonnant de trouver E RHOM dans le biotype 2 alors qu'il est plus proche de E EXIG que de E CURV et TAB FLO sur l'ordination de la figure 3 de DESCY (1979). Son transfert dans le biotype 1 correspondrait beaucoup mieux à son écologie et à notre variante I.3 que nous avons retrouvéedans SYMOENS (1957).

Le biotype 2 rassemble également des taxons d'écologie variée comme E RHOM et E CURV, d'eau acide, et E TENE, TAB FLO et SU ROBA d'eau légèrement acide.

La composition en espèces du biotype 3 appelle aussi quelques commentaires. On y trouve tout d'abord P SUBC comme dans le groupe 3 que nous avons décrit en 1976. Un plus grand nombre d'observations montre la très large distribution de ce taxon et sa préférence pour des milieux acides légèrement pollués.

Le commentaire de DESCY (1983) sur *Navicula rotaeana* n'est pas clair et nous amène à mettre en doute cette détermination. Nous-même avons signalé erronément ce taxon dans la Roer (LECLERCQ, 1977). Depuis lors, nos examens en microscopie électronique nous ont montré qu'il s'agissait d'*Achnanthes austriaca* var. *helvetica*, plutôt acidobionte, parfois en mélange avec des épivalves d'*Achnanthes marginulata* (A MARG) et d'A. *saxonica* (A SAXO) (LECLERCQ & FABRI, 1982). A la lumière de ces observations, nous pensons que la valve de la figure 24 dans DESCY (1979) n'appartient pas à *Navicula rotaeana* mais à *Achnanthes austriaca* var. *helvetica*. Ce taxon aurait sa place dans le biotype 2 alors que A MARG, neutrophile, pourrait caractériser le biotype 3.

Suivant l'avis de LANGE-BERTALOT (1980), nous n'avons pas distingué *Achnanthes microcephala*, *A. minutissima* et sa variété *cryptocephala* : tous les intermédiaires existent entre ces trois taxons et aucune différence d'écologie n'a été décelée. Nous les avons rassemblés sous la dénomination d'*A. minutissima*. DESCY (1979 et 1983) continue à faire la distinction et seul *Achnanthes microcephala* est repris dans sa typologie. *A. minutissima* se retrouve avec des taxons d'eau polluée sur la figure 4 dans DESCY (1979). Par contre, dans nos prélèvements et ceux de FABRI (1984), A MINU régresse rapidement en cas de pollution alors que, parallèlement, *Navicula minima* (NA MINI) - qui ressemble un peu à A MINU en vue valvaire mais dont la vue connective est droite et non coudée - augmente. Il y a, semble-t-il, à ce niveau, une confusion qui expliquerait la position centrale de A MINU sur la figure 4 de DESCY.

En dépit de ces problèmes, nous soulignerons néanmoins un trait commun important entre nos variantes et le biotype 3 de DESCY : c'est le regroupement de DIA HI M, A MICRO (partim A MINU) et FRA CAP qui permet de rattacher ce biotype 3 à nos variantes moyennes II.8 et III.9 alors que SYMOENS (1957) ne signale pas ce type de peuplement.

Nous ne discuterons pas ici les biotypes 4 (intermédiaire entre les milieux ardennais et condrusien) dont certains taxons (CO PLA E, CY SINU) se trouvent dans notre assemblage III.10 ni le biotype 5 d'eau calcaire : ces milieux,

beaucoup plus minéralisés, n'ont pas été envisagés dans cette étude à cause de leur rareté dans le nord du massif Ardennais.

Conclusions

De cette étude critique, il ressort que notre typologie :

- présente des points communs avec les associations de SYMOENS (1957);
- correspond bien à notre typologie provisoire en 5 groupes (LECLERCQ, 1976);
- s'accorde peu avec les 5 biotypes de DESCY (1979) surtout pour les peuplements d'eau acide à légèrement acide.

La variante I.3 à E EXIG dt, E RHOM cdt (E CURV) correspond à l'association à *Eunotia exigua* et *Pinnularia subcapitata* SYMOENS 1957 et la variante I.4, aux diatomées de l'association à *Microspora tumidula* SYMOENS 1954. Ces deux associations ne couvrent donc pas l'ensemble des variantes d'eau acide que nous avons décrites.

Le faciès III.10 est proche de l'association à *Diatoma hiemale* et *Meridion circulare* (KURZ 1922) DENIS 1924 des eaux neutres de type ardennais (SYMOENS, 1957). Par rapport aux autres variantes sur Emsien, c'est un faciès légèrement eutrophisé des variantes II.8 et III.9 dont la minéralisation est plus faible (1.5 méq/l pour le type ardennais de SYMOENS, 1.4 méq/l pour le faciès III.10, 0.6 à 1.1 méq/l pour les variantes II.8 et III.9).

Enfin, l'oligotrophie des variantes II.7, II.8 et III.9 semble favoriser le développement de FRA CAP qui est peu représenté dans l'association à *Diatoma hiemale* et *Meridion circulare*.

Le fait que les deux associations de SYMOENS ne couvrent pas toutes nos variantes d'eau acide dystrophe et d'eau neutre oligotrophe à mésotrophe est dû au nombre réduit de prélèvements que cet auteur a effectués dans la région haute ardennaise proprement dite.

La description de 5 groupes de taxons pour les eaux acides, intermédiaires, neutres, intermédiaires et basiques calcaires que nous avions proposée en 1976 présentait déjà des analogies avec les 10 variantes et faciès que nous définissons aujourd'hui, mais s'avère insuffisante pour refléter la diversité des peuplements de diatomées des eaux du nord du massif Ardennais.

Assemblage à *Eunotia exigua* (E EXIG)

variante	cluster	
1	I.1	E EXIG dt
→ faciès estival	I.2	E EXIG dt, A MINU (GO PARV)
2	I.3	E EXIG dt, E RHOM cdt (E CURV)
3	I.4	E EXIG dt, E CURV cdt, E RHOM, FRU R SA
4	I.5	E EXIG dt, A AUST H cdt, E RHOM, P HILS
5	II.6	E EXIG dt, A MINU cdt, A AUST H, SU ROBA, GO PARV, FRA CAP, A LANC, NA MINI, NI ARCH

Assemblage à *Fragilaria capucina* var. *lanceolata* (FRA CAP) et *Eunotia pectinalis* var. *minor* (E PECT M)

variante	cluster	
6	II.7	E EXIG dt, FRA CAP cdt, A MINU cdt, SU ROBA, TAB FLO, A SAXO, FRA VI, E PECT M, GO PARV
7	II.8	A MINU et FRA CAP dt, GO PARV, E EXIG, HANN A, TAB FLO, A SAXO, E PECT M, DIA HI M, CY MIN, FRA VA, SY ULN (+ A MARG)
8	III.9	A MINU dt, FRA CAP cdt, GO PARV cdt, CY MIN cdt, FRA VA cdt, DIA HI M, NA CRY, HANN A, FRA RUM, A LANC, NI ARCH, E EXIG, SY ULN (+ différentiels de station: GO OLIV et GO CLEV pour le bassin de l'Our, DIA TE E pour la Petite Roer).
→ faciès d'altération	III.10	A MINU dt, GO PARV, DIA HI M, CY MIN, FRA VA, A LANC, NA MINI, NI ARCH, GO OLIV, CO PLA E, CY SINU

Tableau 81 .- Typologie des peuplements de diatomées du nord du massif Ardennais: taxons principaux caractérisant les assemblages et leurs variantes et faciès.

La typologie en 5 biotypes de DESCY (1979) se distingue de la nôtre par un certain nombre de divergences importantes du point de vue taxonomique et auto-écologique qui rendent malaisée une comparaison directe.

L'analyse des tableaux écologiques moyens(n° 71) et par séries de prélèvements (n° 73 à 77) et ces différentes remarques nous amènent à étendre au nord du massif Ardennais la synthèse phytosociologique de SYMOENS (1957) en décrivant 2 assemblages comprenant 8 variantes et 1 faciès qui correspondent à différents niveaux trophiques et 1 faciès saisonnier (tableau 81). Leur écologie sera précisée au chapitre 5.3.5.7.

L'association à *Eunotia exigua* et *Pinnularia subcapitata* décrite par SYMOENS dans la Höegne et qui correspond à nos variantes 2 et 3 peut être considérée comme la variante type de l'assemblage à E EXIG pour lequel nous décrivons 3 nouvelles variantes (1, 4 et 5) et un faciès saisonnier (I.2).

La variante 5 (cluster II.6) est un maillon parfaitement intermédiaire qui appartient plutôt au premier assemblage en hiver et au second en été et en automne. L'abondance moyenne encore élevée d'E EXIG pendant toute l'année et le contact de ces eaux avec le Revinien 2 et 3 plaident en faveur du classement de cette variante dans l'assemblage à E EXIG.

Pour les eaux oligo- à mésotrophes, nous dévrivons un nouvel assemblage (assemblage à FRA CAP et E PECT M) et 3 variantes. Cet assemblage peut être illustré par un relevé type : celui de la station 47 (Büllingerbach) en juillet 1977.

Le faciès d'altération III.10 est proche de l'association à *Diatoma hiemale* et *Meridion circulare* (KURZ 1922) DENIS 1924.

Le tableau 81b donne, pour les différentes variantes, l'abondance relative moyenne calculée pour les prélèvements dans les stations de chaque cluster du tableau moyen 71 et pour les principaux taxons. Il reprend également l'écologie de ces taxons d'après nos observations (chapitre 5.3.7.).

5.3.5.6. Répartition des taxons rares dans les assemblages, variantes et faciès

Nous avons déjà insisté sur le fait que la composition des peuplements de diatomées que nous avons étudiés est généralement dominée par un ou deux taxons, accompagnés par un petit nombre de taxons moins abondants et un grand nombre de taxons rares.

Pour rendre aisés les traitements mathématiques, nous avons réduit le nombre de taxons à 87, en écartant les 271 taxons rares à très rares. Pour la description des assemblages moyens, nous avons encore diminué le nombre de taxons en éliminant ceux dont ne sont comptés que quelques individus dans une ou quelques stations dispersées. Au total, 311 taxons rares ont été provisoirement écartés. Leur distribution, dans les différents assemblages, peut néanmoins nous apporter des indications intéressantes quant à leur écologie notamment. En effet, ces taxons étant rares dans beaucoup de milieux, la littérature ne fournit à leur sujet que peu d'indications auto-écologiques, parfois contradictoires. Tous ces taxons étant rarement comptés, nous avons utilisé, pour étudier leur répartition, les données de présence-absence (chapitre 5. du fascicule annexe). C'est une synthèse de ce tableau que nous présentons à la figure 49 (hors texte) qui est directement comparable avec le tableau écologique moyen (tableau 71), puisque les 72 stations sont disposées dans le même ordre et par cluster numérotés de 1 à 10, correspondant aux 8 variantes et aux 2 faciès.

Cette figure est générale; tous les taxons répertoriés dans notre travail y sont repris; les renseignements que l'on peut tirer de leur distribution sont très significatifs car le tableau de présence-absence résulte d'un inventaire floristique très complet pour chaque relevé mensuel. Dans ces conditions, nous avons conçu cette figure pour en tirer un maximum de renseignements écologiques à savoir :

- la répartition des taxons en respectant les 10 clusters de stations de manière à pouvoir utiliser directement les moyennes physico-chimiques calculées pour chacun de ces clusters (tableau 83);
- la répartition des taxons suivant la fréquence des observations en présence ou l'absence de phosphates.

Nous nous limiterons ici à commenter brièvement la distribution des taxons dans notre typologie, en distinguant les taxons communs (trouvés dans plus de 5 stations), rares (dans moins de 5 stations), et très rares (dans 1 station).

Le nombre de mentions figure entre parenthèses, après le nom de chaque taxon.

On trouve, parmi les taxons communs, tous les taxons du tableau écologique moyen (tableau 71) et de nombreux autres, fréquemment notés, mais rarement ou jamais comptés. Quinze catégories, correspondant à des distributions différentes, peuvent être distinguées. Par exemple, la catégorie 1 rassemble les taxons trouvés uniquement dans les 7 premières variantes . La catégorie 2 rassemble les taxons trouvés dans pratiquement toutes les stations, c'est-à-dire, notés dans toutes les variantes. Par contre, la catégorie 5 rassemble les taxons présents préférentiellement dans les variantes 4 à 10 et moins fréquemment cités dans les variantes 1 à 3 (même type d'interprétation pour les catégories 3, 7, 9, 11 et 13).

Les taxons rares sont répartis en 3 catégories (4-7, 4-10 et 8-10).

Les taxons très rares étant trouvés dans une seule station (sauf A LAPP), leur répartition se réduit à une seule variante (par exemple P ACU I uniquement dans une station du cluster 8). Au total, 67 taxons, soit près de 20 % de l'ensemble des taxons répertoriés, ont ce type de distribution. Ils sont groupés dans la catégorie 19.

Pratiquement, on ne peut tirer que peu d'indications écologiques ou autres, de taxons rares et très rares, le nombre de mentions étant inférieur à 5.

Si on se rappelle que l'ordre des stations, déterminé par les traitements mathématiques des relevés, correspond à une augmentation régulière du pH de haut en bas (pH moyens : 3.9-4.8 pour les clusters 1 à 5; 5.9-6.2 pour les clusters 6-7; 6.8-7 pour les clusters 8-9; 7.3 pour le cluster 10), on peut tirer quelques conclusions générales de cette figure.

Seuls des taxons très rares sont exclusivement notés en milieu très acide : A LAPP dans la variante I.1, E CURV C, E MONO, STA LUN, STA PH B dans la variante I.3.

Vingt-quatre taxons seulement sont distribués partout de façon homogène (catérogie 2) mais on peut y ajouter 72 taxons notés dans toutes les variantes, avec un nombre de mentions plus élevé dans les milieux moins acides (catégories 3, 5, 7 et 9).

Deux cent trente-huit taxons (soit près de 69 % de l'effectif total !) ont une distribution qui recouvre les variantes de types intermédiaires acides à légèrement acides (I.4, I.5, II.6 et II.7) et les variantes neutrophiles (II.8, III.9, III.10). Il s'agit des catégories 6, 8 et 10 à 19. Parmi ces 238 taxons, 64 sont exclusivement trouvés dans les variantes neutrophiles II.8, III.9 et III.10 (catégories 14, 15, 18, 19).

Enfin, plusieurs taxons n'ont été notés que dans les stations des variantes II.6, II.7 et III.9. Ils font ressortir une certaine originalité floristique de ces 3 variantes. Ce sont :

- pour II.6 : A LAPI L, NA ASEL, NA RECO, STA SM I, ST FASC, SY ULN L, NA COHN, A LATE, AMPHO NO, NA BROC, NE DUBI, NI IGNO, P CUNE, P GENT, ST'US DU;
- pour II.7 : A CONS, CY HET, CY SUBC, E SERR A, NA FEST, NA PUP P, NA SUBT, P BREB N, STA UND, E TRIN U, NA GAST, DIA VUL, FRA PI L, GO LON, R G'BA, STA LEG;
- pour III.9 : ACT SEN, AM'PL PE, A RECH, CY SUBA, DIA TE, EPI ADNA, NI MICR, P DI ELL, STA SM B, SU CEL C, SU ROB S, SY PAR, CY CYMB, GO ACU A, AM'PR OR, CYC IRIS, GO ACU T, GO BREB, NA ME'XA, NA TRIP, P MESOG, P POLY, SY LONG, SY ULN O.

On peut rassembler ces différentes observations, transformées en pourcentage du nombre total de taxons dans le tableau 82.

Distribution	Variantes et faciès
1 % des taxons uniquement notés en milieu très acide	I.1 et I.3
2 % des taxons uniquement notés en milieu très acide à légèrement acide	I.1 à II.7
7 % des taxons notés partout	I.1 à III.10
21 % des taxons notés partout, mais plus souvent en milieu légèrement acide à neutre	(I.1-I.3) I.4-III.10
51 % des taxons notés uniquement en milieu légèrement acide à neutre	I.4 à III.10
18 % des taxons notés uniquement en milieu neutre	II.8-III.10

Tableau 82.- Pourcentage du nombre de taxons mentionnés dans les variantes acidophiles, intermédiaires et neutrophiles.

Ces résultats soulignent l'extrême pauvreté des variantes I.1 et I.3 d'eau très acide, face à la grande richesse floristique des variantes I.4 à III.10 de type intermédiaire ou neutrophiles. Plus de 2/3 des taxons ont, en effet, une distribution limitée à ces dernieres.

5.3.5.7. Utilisation pratique de notre système de référence

Le tableau écologique moyen (tableau 71) et les tableaux par série (tableaux 73 à 77) constituent notre système typologique de référence par rapport auquel on peut juger de l'importance d'altérations dues à des pollutions ou à une eutrophisation.

L'utilisation de ce système est simple. Nous avons montré que, dans la majorité des cas, une très bonne correspondance existait entre nos relevés ponctuels et les variantes et faciès moyens. Quand on veut situer un relevé dans cette typologie, il suffit donc de le comparer avec ces variantes moyennes. Si le résultat de la comparaison n'est pas jugé satisfaisant, il faut alors consulter les tableaux par série qui, grâce à leur composante saisonnière, donnent une image plus nuancée de chacune des variantes.

Rappelons ici deux éléments importants :

- il faut tenir compte d'un maximum de taxons, en tout cas de tous ceux qui sont encadrés dans le tableau moyen. Un certain nombre d'autres taxons, dont la distribution est clairement définie dans le tableau synthétique de présence -absence (figure 49) peuvent aussi confirmer ou orienter utilement le choix d'une variante ou d'un faciès;
- cette typologie est valable pour la région étudiée, c'est-à-dire pour des eaux oligotrophes à mésotrophes coulant sur des roches pauvres du Cambrien et du Dévonien inférieur. Elle devrait être étendue aux eaux calcaires des terrains plus riches du Dévonien moyen et supérieur, du Carbonifère et du Crétacé pour pouvoir être appliquée à une plus vaste région.

5.3.5.8. Ecologie des deux assemblages et de leurs variantes et faciès

Pour déterminer l'écologie des 10 variantes et faciès que nous venons de décrire , nous avons calculé les valeurs moyennes des principaux paramètres physico-chimiques pour chaque cluster de stations (tableau 83) et nous avons tracé les diagrammes ioniques moyens pour chacun des 10 clusters de stations (figure 50).

Nous avons également tracé les profils des valeurs de z (écart réduit) pour les stations les plus importantes de chaque cluster et les diagrammes ioniques extrêmes enregistrés à ces stations (figure 51, hors texte).

Les profils des valeurs de z ont l'allure d'une courbe en cloche dont le sommet correspond à des taxons acidobiontes à acidophiles lorsqu'il est localisé à gauche du graphique et à des taxons neutrophiles à alcaliphiles lorsque le sommet est à droite. L'ordre des taxons, rappelé dans la légende du tableau 51, est celui de l'analyse en composantes principales le long de l'axe curvilinéaire.

Dès lors, les profils des valeurs de z illustrent clairement le glissement de la composition des peuplements de la gauche vers la droite quand on passe des milieux acides (stations 29 à 130) aux milieux neutres (stations 121 à 111). Ils montrent également l'augmentation progressive de la richesse floristique (barres noircies pour les taxons présents).

Les diagrammes ioniques moyens (figure 50) et extrêmes (figure 51) se répartissent en deux groupes bien définis, l'un, déficitaire en bicarbonates et riche en sulfates, correspondant aux peuplements dominés par E EXIG et l'autre, bien pourvu en bicarbonates et sans excès de sulfates, caractérisant les peuplements dominés par des neutrophiles, surtout A MINU et FRA CAP.

Au sein de ces deux groupes principaux, on peut distinguer différents niveaux et différents types de minéralisation très proches du point de vue physico-chimique, mais dont les peuplements sont pourtant bien distincts.

A l'aide du tableau 83 et des figures 50 et 51, nous pouvons résumer l'essentiel de nos observations sur ces variantes et faciès et leur écologie.

	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5	II.6	II.7	II.8	III.9	III.10
pH	3.9	4.4	4.1	4.7	4.8	5.9	6.2	6.8	7.0	7.3
Alc (ppm-$CaCO_3$)	0.06	0.4	0.1	0.98	0.60	4.5	4.8	6.4	10.5	15.4
SO_4 (ppm)	15.4	16.9	18.9	11.2	14.9	23.2	6.4	5.7	5.5	4.8
Ca (ppm)	2.5	3.4	3.8	2.6	4.0	7.9	2.8	3.1	3.8	5.1
Mg (ppm)	0.9	1.2	1.3	1.0	1.2	2.6	1.5	1.8	2.4	3.5
Fe (ppm)	0.7	0.7	0.6	0.8	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4
Al (ppm)	0.6	0.6	0.8	0.5	0.7	0.3	0.1	0.03	0.03	0.05
Cl (ppm)	4.1	3.6	4.8	4.0	4.4	8.1	5.1	5.1	5.2	7.7
NO_3 (ppm-N)	0.5	0.4	1.2	0.6	0.8	1.1	0.5	0.9	1.1	1.6
Na (ppm)	2.1	2.3	2.8	2.3	2.9	4.5	2.8	2.8	3.0	3.8
K (ppm)	0.3	0.3	0.4	0.4	0.7	1.0	0.4	0.4	0.8	1.5
Si (ppm)	1.3	1.5	2.0	1.8	2.6	2.9	2.4	2.0	2.5	3.2
PO_4 (ppb-P)	<1	<1	<1	0	0	<1	<1	<1	<2	<1
Min. glob. (méq/l)	0.74	0.84	0.96	0.69	0.89	1.63	0.77	0.83	1.01	1.37
NH_4,NO_2 (ppm-N)	0	0	0	0	traces (st. 173)	traces (st. 63)	0	0	traces (st. 98, 122)	non mesuré

Tableau 83.- Valeurs moyennes des principaux paramètres physico-chimiques calculées pour chaque cluster de stations (I.1 à III.10).

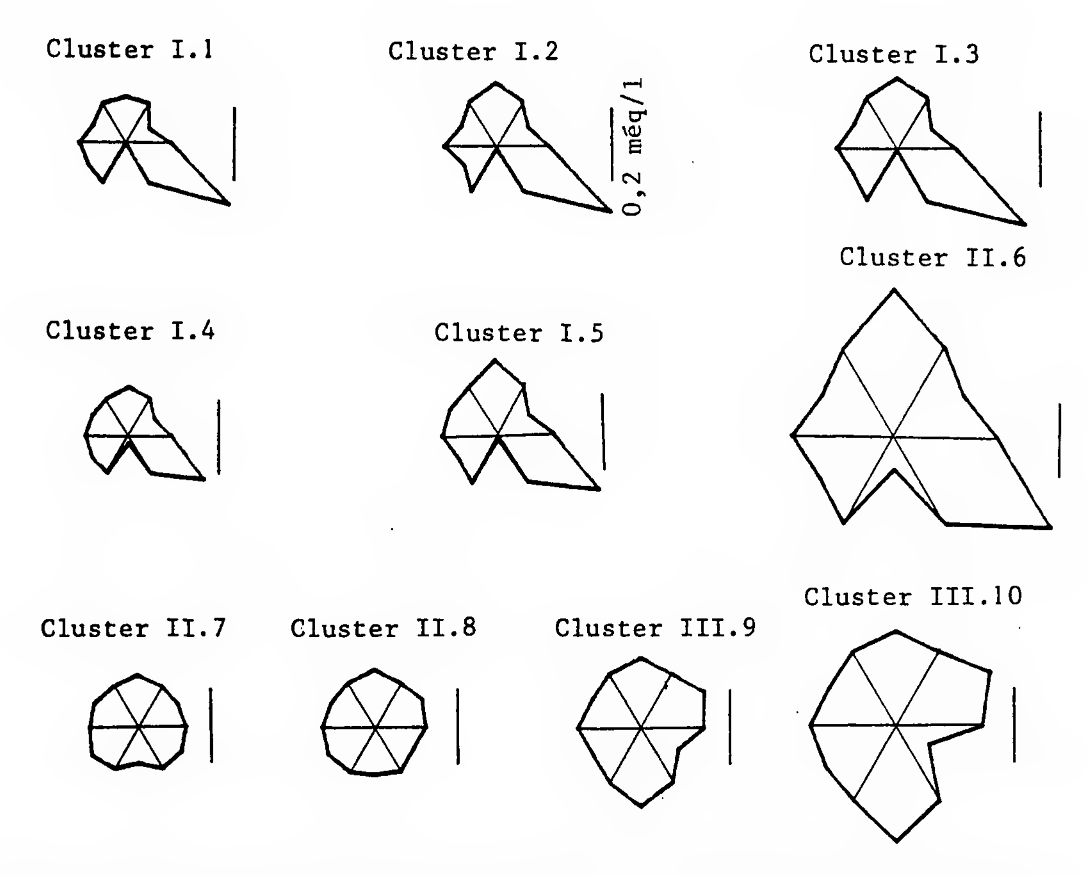


Figure 50.- Diagrammes ioniques moyens pour chaque cluster de stations (I.1 à III.10).

1. Assemblage à E EXIG

Variante	Cluster	
┌1	I.1 :	type très acide, peu minéralisé (0.74 méq/l), pauvre en taxons, lesquels sont des acidobiontes et des acidophiles;
└→faciès	I.2 :	type très acide, un peu plus minéralisé (0.84 méq/l), plus riche en taxons en période d'étiage (faciès estival avec quelques taxons neutrophiles);
2	I.3 :	type très acide, encore plus minéralisé (0.96 méq/l), 1.5 fois plus riche en calcium et 2.4 fois en nitrates que le I.1, encore pauvre en taxons;
3	I.4 :	type très acide, le moins minéralisé (0.69 méq/l) avec une alcalinité faible, mais systématique en été et en automne, et apparition de taxons neutrophiles pendant cette période;
4	I.5 :	type acide, plus minéralisé que le précédent (0.89 méq/l), mais avec aussi une alcalinité faible en été; richesse floristique plus élevée, nombre plus important de taxons neutrophiles;
5	II.6 :	type le plus minéralisé (1.63 méq/l), moins acide, alcalinité nettement plus élevée que pour les 5 types précédents, peuplements mixtes, avec des acidophiles et des neutrophiles en quantités à peu près égales.

2. Assemblage à FRA CAP et E PECT M

Variante	Cluster	
6	II.7 :	type légèrement acide, peu minéralisé (0.77 méq/l), avec une alcalinité pendant toute l'année et des peuplements dominés par des taxons neutrophiles à tendance acidophile ;
┌7	II.8 :	type neutre, peu minéralisé (0.83 méq/l), bien équilibré (diagramme ionique arrondi), peuplements dominés par des neutrophiles mais avec encore un nombre important de taxons acidophiles;
├8	III.9 :	type neutre, plus minéralisé (1.01 méq/l), plus riche en bicarbonates et en magnésium, peuplements dominés par les taxons neutrophiles et caractérisés par une richesse floristique très élevée; pour la première fois, apparition de taxons mésotrophes situés à l'extrême droite du profil des valeurs de z;
└→faciès	III.10 :	type neutre à tendance basique en été, plus minéralisé (1.37 méq/l), riche en magnésium et plus riche en nitrates, peuplements dominés par des neutrophiles mais avec en plus de nombreux taxons mésotrophes et même des alcaliphiles et des saprophiles, ce qui explique le déplacement du profil vers l'extrême droite. Nous interprétons ce type comme un faciès d'altération des variantes II.8 et III.9.

L'écologie de chaque variante ou faciès est donc bien définie par une composition physico-chimique particulière de l'eau. D'autre part, l'utilisation de valeurs moyennes pour caractériser le peuplement d'une station donne de très bons résultats en rendant bien compte de l'effet de l'augmentation progressive du pH en été et en automne sur le développement plus ou moins important de taxons neutrophiles dans les milieux de type intermédiaire.

5.3.6. Variations saisonnières des peuplements algaux

5.3.6.1. Productivité primaire algale

Introduction

Les données disponibles dans la littérature concernent essentiellement les eaux stagnantes. Un ouvrage de synthèse sur l'écologie des algues comme celui de ROUND (1981) ne cite aucun exemple en eau courante.

Pour le phytoplancton en général, ROUND (1981) signale deux périodes de productivité importante en mars-avril et en juillet-août-septembre en milieu marin côtier, à la latitude de Copenhague. Sur ses graphiques, seul le deuxième maximum correspond à une température plus haute et le maximum d'intensité lumineuse se situe entre les 2 maximums de productivité. La même séquence est notée en eau douce (lac Mikolajskie, Pologne) : premier pic en avril, deuxième pic plus réduit en août-septembre. Le même auteur relève dans deux lacs de Grande-Bretagne (Windermere et Blelham Tom) un seul maximum d'avril à juin, qui semble corrélé à l'augmentation des heures d'ensoleillement mensuel et à la diminution de la pluviosité mensuelle.

Dans une rivière de Grande-Bretagne, TALLING (1975) montre la corrélation entre la température, l'ensoleillement et la quantité de chlorophylle qui est cependant très variable entre avril et septembre (courbe en dents de scie, avec des maximums en mai-juin, août-septembre).

Une étude mensuelle dans une station de la Meurthe (PIERRE, 1968) signale un développement maximum des diatomées en juin-juillet et en octobre-novembre.

D'une façon plus générale, BONEY (1975) montre l'effet de la latitude sur les variations saisonnières de la production de phytoplancton marin : un maximum en août dans les mers de l'Arctique, un maximum en avril-mai et un second, plus faible, en octobre pour les mers tempérées; très peu de fluctuations dans les mers tropicales. Il rappelle également que l'intensité lumineuse maximum est atteinte en mai-juin dans les régions tempérées.

En général, on peut donc dire que sous nos latitudes, deux maximums de productivité sont notés, le plus important au printemps (avril-mai), le second en automne (septembre-octobre) et ce, tant en milieu marin qu'en eau douce.

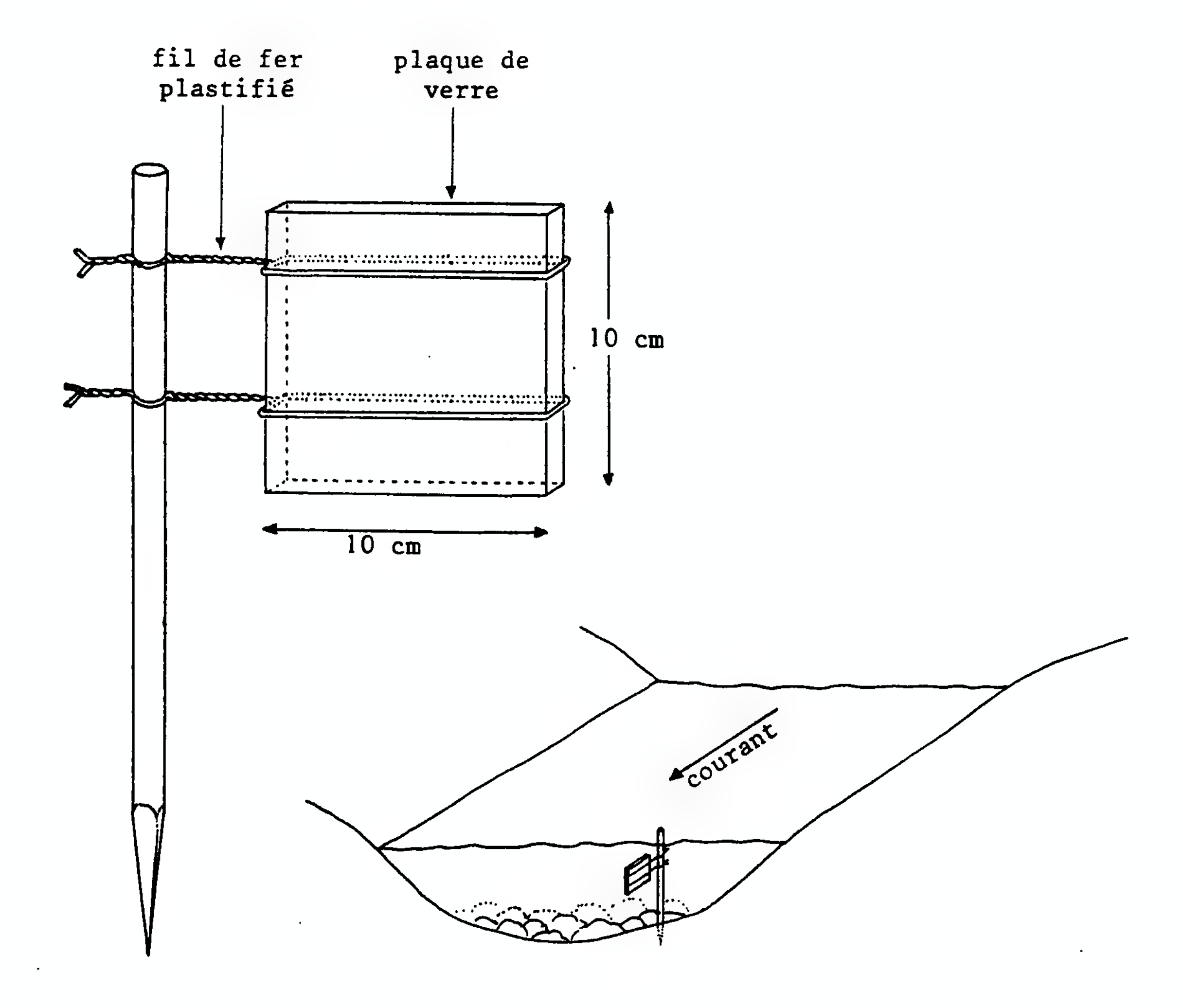


Figure 52.- Dispositif expérimental pour la mesure de la productivité primaire algale et son installation dans la rivière.

Les paramètres évoqués pour expliquer les variations de productivité sont plutôt climatiques (intensité lumineuse, température, pluviosité). Cependant, les corrélations entre les paramètres climatiques et la productivité vont dans des sens divers suivant les auteurs précités. Certains paramètres physico-chimiques (tels que les concentrations en silice, nitrates, phosphates), s'ils deviennent effectivement limitants en eaux stagnantes, sont beaucoup plus constants en eaux courantes comme nous l'avons montré précédemment.

Méthode

La productivité primaire a été suivie mensuellement dans différents types d'eau, par immersion, dans chaque station, de 3 plaques de verre de 0.5 cm d'épaisseur et de 10 cm de côté, disposées parallèlement au courant (flux laminaire) pendant 25 à 30 jours (figure 52). Ce système, très simple et peu coûteux, présente plusieurs avantages :

- grande surface d'expérimentation, les deux côtés des plaques étant utilisables (soit 600 cm^2 par station);
- orientation optimale dans le sens du courant grâce à la flexibilité du raccord avec le piquet;
- possibilité de disposer la plaque à une distance suffisante du fond pour éviter le remblayage par les sédiments et le bris par les cailloux déplacés lors des crues;
- placement aisé et dispositif discret.

Les plaques récoltées sont rapportées sous eau au laboratoire et le recouvrement algal est détaché du support au moyen d'une lame de rasoir.

L'extraction se fait dans l'acétone 90 % basifiée, pendant une nuit au froid et à l'obscurité. Après filtration, la densité optique de l'extrait est mesurée à 665 nm avant et après acidification. Les quantités de chlorophylle a et de phéophytine sont calculées d'après les formules établies par LORENZEN et citées par VOLLENWEIDER (1969). La productivité totale est exprimée en mg de chlorophylle/ m^2/jour. Le contenu du filtre est nettoyé à l'acide nitrique, rincé et utilisé pour le comptage de diatomées : les résultats sont exprimés en nombre de valves/mm^2/jour (tableau 84).

Parmi les 10 stations choisies, 8 sont situées en milieu ouvert et sont donc comparables du point de vue de l'éclairement et 2 (stations 9 et 130) sont bordées d'arbres.

N°station	1977							Moyenne annuelle par station	1978										Moyenne annuelle par station
	m	j	jt	at	s	o	n		ms	a	m	j	jt	at	s	o	n	d	
93			non suivi					-	0.0	0.0	1.0	19.0	8.0	6.0	2.0	0.0	-	0.0	4.0
9	1.0	25.0	0.3	0.2	1.0	0.1	p	8					non suivi						-
43			non suivi					-	p	1.0	9.0	6.0	1.0	6.0	3.0	0.0	-	0.0	3.0
39			non suivi					-	p	0.0	5.0	50.0	21.0	37.0	12.0	1.0	-	0.0	16.0
170	p	0.4	0.1	0.2	0.2	0.3	0.0	0.2					non suivi						-
130	p	0.4	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2					non suivi						-
31	8	60.0	34.0	24.0	27.0	23.0	14.0	31.0	0.0	5.0	27.0	20.0	73.0	10.0	23.0	6.0	-	2.0	18.0
121	2.0	24.0	5.0	47.0	67.0	21.0	24.0	27.0	p	0.0	5.0	43.0	77.0	22.0	26.0	39.0	-	36.0	31.0
47					162.0	63.0	38.0	-	p	29.0	30.0	44.0	71.0	37.0	269.0	41.0	-	7.0	66.0
91	n.s.	78.0	4.0	non suivi				-	non suivi		60.0	37.0	149.0	8.0	3.0	3.0	-	31.0	42.0
Moyenne mensuelle générale	4.0	31.0	7.0	14.0	43.0	18.0	15.0	/	(0)	6.0	20.0	31.0	57.0	18.0	48.0	13.0	-	11.0	/

N°station	pH moyen	Alc. moyenne	Min. glob. moyenne
93	4.1	0.0	0.757
9	4.0	0.1	0.941
43	4.7	1.0	0.663
39	4.7	1.0	0.685
170	5.7	2.9	1.605
130	6.1	5.3	2.228
31	6.0	4.4	0.701
121	6.4	6.2	0.633
47	6.7	6.2	0.633
91	7.0	9.9	0.894

N°station	1977							Moyenne annuelle par station	1978										Moyenne annuelle par station
	m	j	jt	at	s	o	n		ms	a	m	j	jt	at	s	o	n	d	
93			suivi						0.00	0.00	0.04	0.04	0.04	0.04	0.10	1.02	-	0.00	0.04
9	0.00	0.07	0.01	0.00	0.01	0.01	p	0.02					non suivi						
43			suivi					-	p	0.00	0.03	0.03	0.01	0.11	0.03	0.00	-	0.00	0.03
39			suivi					-	p	0.00	0.04	0.08	0.05	0.05	0.05	0.04	p	0.00	0.04
170	p	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00	0.02					non suivi						
130	p	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02					non suivi						
31	0.09	0.40	0.15	0.03	0.00	0.03	0.08	0.15	0.00	0.14	0.09	0.11	0.09	0.03	0.02	0.04	-	0.01	0.07
121	0.16	0.85	0.06	0.12	0.19	0.10	0.13	0.31	p	0.00	0.22	0.12	0.19	0.10	0.08	0.13	-	0.17	0.13
47					0.13	0.13	0.11	-	p	0.15	0.12	0.16	0.07	0.06	0.19	0.10	-	0.05	0.11
91	n.s.	0.83	0.04	p	non suivi			-	non suivi		0.54	0.75	0.24	0.01	0.03	0.01	-	0.07	0.24
Moyenne mensuelle générale	0.08	0.37	0.05	0.03	0.07	0.05	0.07	/	(0.00)	0.05	0.15	0.17	0.10	0.06	0.07	0.05	-	0.04	/

Tableau 84.- Productivité primaire en nombre de diatomées/mm^2/jour (au-dessus) et en mg de chlorophylle a/m^2/jour (en dessous) dans quelques rivières de types chimiques différents.
La correspondance avec les principaux paramètres physico-chimiques est donnée dans le petit tableau (à droite).

Résultats

Productivité totale : dosage de la chlorophylle a (tableau 84)

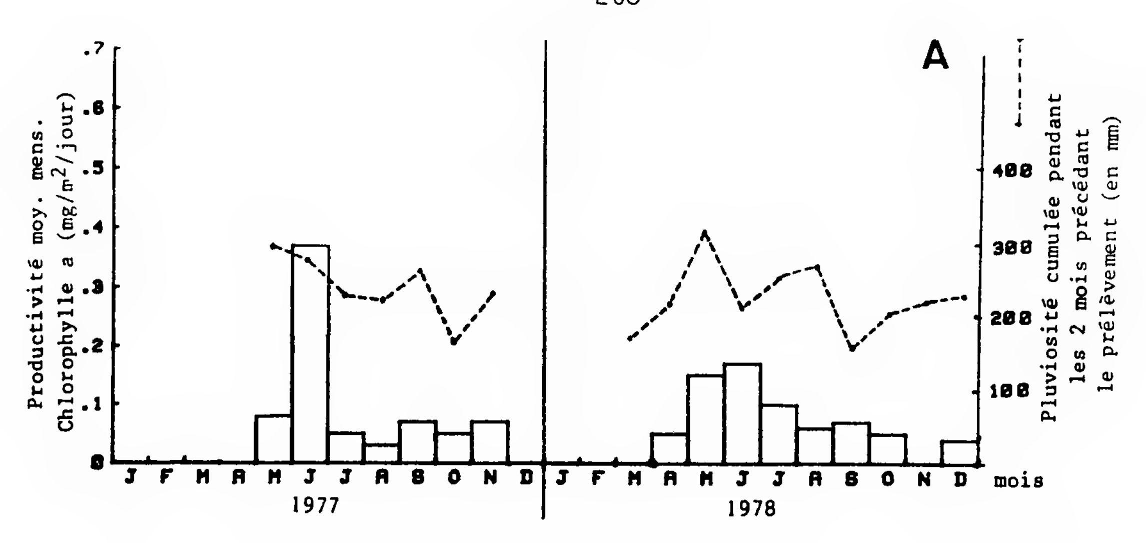
Les productivités mesurées sont très faibles dans les rivières acides (stations 9, 93, 39, 43, 130, 170) et faibles dans les eaux moins acides ou neutres (stations 31, 121, 47, 91) ce qui est normal étant donné l'oligotrophie de ces milieux. Les valeurs supérieures à 1 mg de chlorophylle a/ m^2/jour sont exceptionnelles en 1977. En 1978, on ne dépasse pas 0.75 mg dans la station 91, la plus mésotrophe. Ces chiffres sont sensiblement inférieurs à ceux mesurés dans les eaux eutrophisées de la Warche en mai et juin 1975 (FABRI, 1977). JOHANSSON (1979) cite des chiffres de biomasse comparables aux nôtres dans des rivières oligotrophes du même type (pH : 6.6 à 6.9; conductivité : 50 à 100 µS/cm).

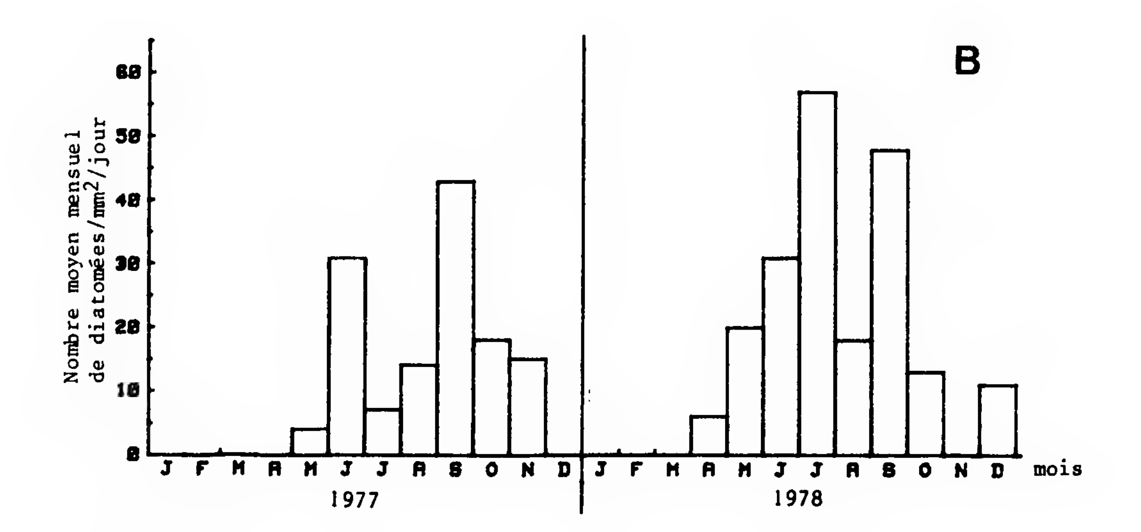
Si on calcule la productivité moyenne annuelle pour chaque station (tableau 84), on obtient une bonne corrélation avec le pH et l'alcalinité, mais pas avec la minéralisation globale : la productivité moyenne est de 0.04 mg de chlorophylle a pour un pH inférieur à 6, et de plus de 0.07 mg pour un pH supérieur; par contre, pour une minéralisation globale équivalente (0.69 méq/l), la productivité est plus élevée à pH 6.4, avec une alcalinité de 6.6 ppm-$CaCO_3$ (station 121 : 0.31 mg de chlorophylle a en 1977) qu'à pH 4.7 avec une alcalinité de 1 ppm (station 39 : 0.04 mg en 1978).

De la même façon, les stations 130 et 170 ont une minéralisation élevée, en raison de teneurs importantes en sulfates et calcium, mais un pH souvent acide. Ces différents éléments combinés semblent défavorables à la croissance des algues car la productivité y est toujours très faible.

L'évolution mensuelle pour les deux années d'expérimentation présente deux maximums (mai-juin et septembre-octobre) pour la plupart des stations. Ceci nous permet de calculer une moyenne mensuelle générale (tableau 84) calculée sur toutes les stations et de tracer ensuite un histogramme de variation annuelle de la productivité (figure 53) pour 1977-1978. Ces histogrammes sont mis en parallèle avec les nombres moyens de diatomées, la température moyenne de l'air pendant la période d'exposition des plaques et la pluviosité cumulée pendant les deux mois précédant leur récolte.

En 1977, on distingue un pic très élevé en mai-juin, un minimum en août et une légère reprise en septembre.





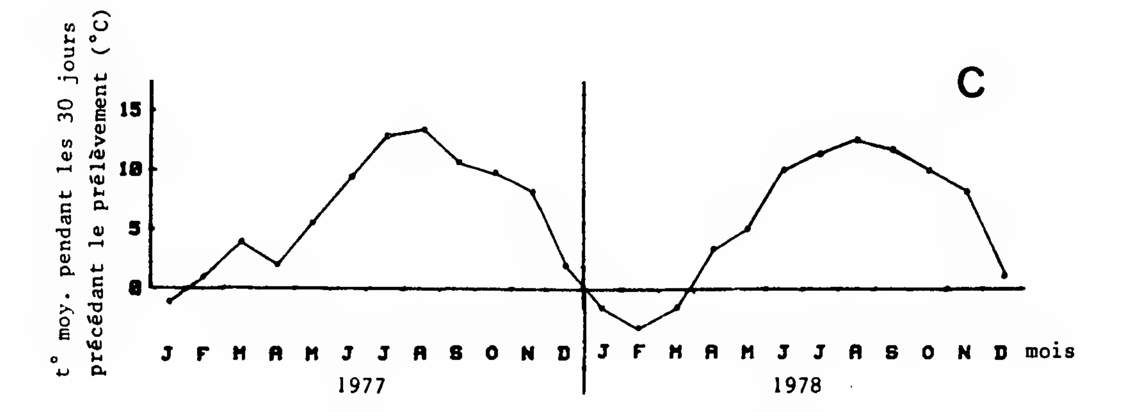


Figure 53.- Evolution de la productivité moyenne mensuelle, calculée pour les stations du tableau 84 et ses relations avec la pluviosité et la température.

A. productivité exprimée en mg de chlorophylle a/ m^2/ jour (histogrammes) et pluviosité moyenne par quinzaine (en mm) calculée pendant les 2 mois précédant les prélèvements.

B. productivité exprimée en nombre moyen mensuel de diatomées/ mm^2/ jour.

C. température moyenne (en °C) pendant les 30 jours précédant les prélèvements.

En 1978, le premier pic, également en mai-juin, est beaucoup plus faible et le second, en septembre, constitue simplement un épaulement de la partie droite de l'histogramme. La productivité est nulle en mars mais nous ne disposons que de deux mesures, le matériel ayant été perdu dans les autres stations.

Les périodes de productivité élevée correspondent à des périodes pluvieuses (figure 53A). Nous avons déjà constaté une augmentation synchrone de la pluviosité et de la richesse floristique (figure 40) qui correspond donc en plus à une augmentation de la productivité. C'est en fait l'inverse de ce que constate ROUND (1981) dans deux lacs de Grande-Bretagne (maximum de productivité au minimum de pluviosité).

La température moyenne de l'air à laquelle est étroitement liée la température de l'eau (figure 12), augmente régulièrement à partir des mois d'avril-mai pour atteindre un maximum en août, les profils de 1977 et 1978 étant très semblables. Les périodes de productivité importante ne correspondent pas à la période de température maximale mais, comme pour la richesse floristique, à des périodes de transition entre le printemps et l'été (mai-juin) et entre l'été et l'automne (septembre), c'est-à-dire quand la température moyenne de l'air est de l'ordre de 8°C pour la première période et de 11°C pour la seconde. La température fraîche et l'intensité lumineuse maximale en mai-juin semblent être deux facteurs déterminants pour expliquer la productivité élevée à ce moment. Le second pic de productivité, lié à une température du même ordre de grandeur, mais à une intensité lumineuse beaucoup plus faible, est sensiblement plus réduit.

Diatomées

Les histogrammes du nombre moyen mensuel de diatomées par mm^2 et par jour sont parallèles à ceux des teneurs en chlorophylle a (maximum en mai-juin et en septembre), mais les pics sont proportionnellement différents. En effet, en 1977, la teneur importante en chlorophylle a en mai correspond à un nombre assez faible de diatomées, alors qu'en septembre, la quantité de chlorophylle est plus faible et le nombre de diatomées élevé. Il en est de même pour juillet et septembre 1978.

Ces divergences trouvent leur justification dans le fait que la teneur en chlorophylle correspond à la productivité globale, sans distinguer les différents groupes d'algues : cyanophycées, chlorophycées, diatomées, rhodo-

phycées; les développements ne sont pas nécessairement synchrones. ROUND (1961) montre par exemple, le développement beaucoup plus limité dans le temps des cyanophycées par rapport à celui des diatomées dans deux lacs de Grande-Bretagne.

Nos observations sur le terrain (estimation quantitative des algues macroscopiques) situent leur développement principalement en mai-juin. Ainsi, le pic très élevé de juin 1977 correspond à un nombre moyen de diatomées de 31 valves/mm^2/jour et à une biomasse importante d'algues filamenteuses (*Microspora* dans les eaux acides, *Ulothrix* dans les eaux neutres, *Hydrurus foetidus* à la station 121).

D'autres part, comme l'indique PIERRE (1968), il est généralement admis que le développement des diatomées se situe au printemps et surtout en automne. Nous observons en effet en septembre 1977 et en juillet et septembre 1978 une production importante de diatomées qui, n'étant plus accompagnées d'algues filamenteuses, correspond à une faible teneur en chlorophylle a.

Conclusions

La productivité primaire, évaluée par mesure de la chlorophylle a et le comptage de diatomées, est très faible dans les eaux acides dystrophes et faible dans les eaux neutres oligotrophes à mésotrophes. Le gradient de productivité dans les principaux types d'eaux acides (stations 9 et 93), intermédiaires acides (stations 39 et 43), intermédiaires légèrement acides (stations 31 et 121) et neutres (stations 47 et 91) est mis en relation avec l'augmentation du pH et de l'alcalinité. Comme KLASVIK (1974), nous considérons ces 2 paramètres comme étant les plus importants.

L'évolution saisonnière de la productivité est marquée dans la plupart des stations par deux pics, l'un important en mai-juin, l'autre plus faible en septembre-octobre. Ces résultats correspondent aux observations des auteurs précités en eau de mer ou en eau douce stagnante, à une latitude équivalente. Les deux périodes de productivité maximale ne sont pas les plus chaudes. Au contraire, elles correspondent à une température moyenne de l'air de 8 à 11°C et à une pluviosité importante, ce qui délimite bien les exigences écologiques des peuplements de diatomées du nord du massif Ardennais, bien adaptés à des températures fraîches et des courants rapides.

L'intensité lumineuse, plus forte en mai-juin qu'en septembre, peut expliquer le développement plus important des algues macroscopiques pendant la première période. Une distinction doit donc être introduite entre les algues macroscopiques filamenteuses (chlorophycées, chromophycées, cyanophycées et rhodophycées) qui constituent l'essentiel de la biomasse printanière, et les diatomées qui sont plus abondantes en été et en automne, ce qui explique les divergences observées entre les teneurs en chlorophylle a et les nombres de diatomées.

5.3.6.2. Modifications saisonnières des peuplements de diatomées

Tout comme pour la productivité, on connaît mieux le mécanisme de ces variations dans les milieux stagnants que dans les eaux courantes. L'existence, en eau stagnante, de cycles répétitifs très nets de différents paramètres (silice, nitrates, phosphates) en fonction du développement algal, (ROUND, 1981), constitue une différence fondamentale par rapport aux eaux courantes.

Dans nos rivières à courant rapide, mis à part un cas d'étiage exceptionnel en octobre 1976, la minéralisation globale et les teneurs en silice varient très peu. Seul le pH et l'alcalinité augmentent du printemps à l'automne et les teneurs en nitrates sont plus élevées en hiver. En fait, si un tel milieu est limitant (pour le calcium, par exemple), il le reste pendant toute l'année.

L'étude des variations saisonnières comprendra deux volets :

- les variations quantitatives de chaque taxon en relation avec leur auto-écologie (diagrammes des variations mensuelles, synthèse bibliographique sur l'écologie des taxons, spectres écologiques);
- les variations du peuplement.

5.3.6.2.1. Variations quantitatives de chaque taxon, en relation avec leur auto-écologie

Introduction

On trouve rarement, dans la littérature, des données sur la succession des espèces au cours de l'année dans des eaux courantes. Nous avons rassemblé, pour quelques espèces, les conclusions de quelques auteurs concernant les périodes de développement préférentielles, mais surtout dans des eaux calcaires (tableau 85). L'ordre des travaux cités correspond à un gradient de minéralisation croissante, estimée à partir de renseignements, hélas souvent très fragmentaires.

Nous citons ainsi successivement :

- SABATER (1983) : rivière Avenco (Espagne) : 11 km de long; 77 μS/cm aux sources, c'est-à-dire une conductivité proche des nôtres; 169 μS/cm en aval. Température de l'eau : -3°C en janvier à 33°C en août 1980.

- WACYLIK (1965) : affluent de la rivière Sola (Pologne) : 9 km de long; altitude : 720 m à la source, 305 m à l'embouchure; pH : 7.1; alcalinité : 31 ppm-$CaCO_3$; calcium : 15.7 ppm Ca^{++} (mesures à la station la plus en aval). On ne connaît pas l'évolution de ces paramètres de la source à l'embouchure. La partie aval est, de toute évidence, plus riche comme le suggère la présence de MEL VAR, DIA VUL, CO PEDI, NA LANC, CY SINU, espèces plutôt calciphiles. Température moyenne annuelle de l'air : 7.8°C. L'auteur donne les variations saisonnières dans les parties amont et aval.

- KLASVIK (1974) : rivière Verkeån (Suède) : 36 km de long; à la source, altitude 178 m; pH : 6.6 à 7.6 et conductivité : 198 à 408 µS/cm; à l'embouchure : pH : 7.0 à 8.2 et conductivité : 193 à 347 µS/cm. Augmentation du pH et de la dureté de janvier à octobre. Rivière légèrement calcaire. Température moyenne annuelle de l'eau : 9.2°C à 18 km de la source.

- MARKER & CASEY (1983) : rivière calcaire artificielle (Angleterre).

L'examen de ce tableau montre la grande variabilité des résultats non seulement d'un auteur à l'autre, ce qui est concevable puisque les régions considérées présentent des climats très différents et que la physico-chimie est variée, mais aussi chez un même auteur, quand on considère, sur une même rivière, deux tronçons différents du point de vue physico-chimique mais très semblables du point de vue climatique.

Prenons quelques exemples : FRA CAP a un développement plutôt automnal, mais KLASVIK le mentionne également en mai; HANN A est plutôt printanier, mais WACYLIK le trouve en plus en automne; CO PEDI est trouvé en abondance à toutes les périodes possibles; dans la même rivière, WACYLIK trouve CY MIN au printemps et en automne dans la partie amont et en été dans la partie aval et même DIA HI M, espèce à développement typiquement printanier, est trouvée en été dans la partie aval.

Il semble donc utopique de tenter une synthèse bibliographique de ce genre de données sans passer par une généralisation abusive. Il apparaît en outre très difficile de déterminer le rôle d'un paramètre important, tel que la température, dans les modifications de peuplement. En fait, d'après le tableau 85, il semble que les caractéristiques chimiques de l'eau ont une influence primordiale. Nous verrons que nos données confirment cette hypothèse.

Taxons	SABATER (1983)	WACYLIK (1965)		KLASVIK (1974)	MARKER & CASEY (1983)
		Amont	Aval		
MER CI	nov.-déc.	print.	print.	mars-avril	avril-mai
FRA CAP	sept. à nov.	——	aut.	mai et nov.	——
HANN A	avril-mai	print.-aut.	print.-été	——	
SY ULN et var.	nov.à févr.,avril à juin,sept.à nov.	print.-aut.	aut.	mai et oct.	mai et sept.(1977) mars et jt (1978)
FRA VA	déc. à févr.	——	print.-aut.	janv. à mai	——
CO PEDI	oct.-nov.	——	print.	juin	——
CO PLAE	jt. à nov. et janv.	print.-aut.	print.-été-aut.	juin et sept.	——
A LANC	nov.à janv.,mars à mai	print.	aut.	avril et oct.	——
A MINU	——	print.-aut.	print.-aut.	mai et déc.	mai
NA CRY	déc.à févr.-at.à oct.	——	été-aut.	déc.	——
M VAR	at.à nov.	——	aut.	mai à oct.	——
DIA HI M	déc. à mars	print.	été	——	——
CY MIN	févr.-mars et sept.à nov.	print.-aut.	été	——	——
CY SINU	févr.-mars	——	été	——	——

Tableau 85.- Comparaison des résultats de quelques travaux sur les variations saisonnières de quelques taxons de diatomées en eaux courantes.

Présentation des résultats

Pour les variations saisonnières des taxons, les figures 54 à 61 données à la fin de ce chapitre illustrent l'évolution mensuelle de l'abondance relative des 17 taxons principaux qui caractérisent les 10 variantes et faciès décrits plus haut. Sur ces figures sont rappelées les variations saisonnières du pH, de l'alcalinité et de la minéralisation globale. Les stations sont groupées comme dans les clusters du tableau 71 mais elles sont classées, dans chaque cluster, par ordre de pH moyen croissant. La somme des abondances relatives des taxons considérés est, le plus souvent, proche de 100 %, sauf dans quelques stations où un taxon différentiel atteint, occasionnellement, une abondance relative élevée : il apparaît alors dans la colonne intitulée "AUTRES" qui rassemble aussi les quelques taxons calciphiles ou indicateurs d'eutrophisation, rarement abondants (stations 176, 63, 130, 119, 68, 157, 111...). Tous les autres taxons des relevés ne représentent donc au total que quelques pourcents : leurs variations mensuelles sont dès lors difficilement exploitables. Ce type de figuration permet de repérer aisément les périodes favorables au développement des différents taxons.

Comme il est difficile de comprendre ces modifications sans évoquer l'auto-écologie de certains taxons, nous utiliserons les renseignements rassemblés dans le chapitre floristique (fascicule annexe, chapitre 5.2.) qui constitue une synthèse bibliographique importante et les spectres écologiques (fascicule annexe, chapitre 5.5.) tracés à partir des 841 relevés et analyses physico-chimiques effectués par FABRI (1984) et par nous-même dans le nord du massif Ardennais.

L'auto-écologie des 87 taxons que nous avons principalement considérés fera l'objet d'un chapitre particulier (chapitre 5.3.7.). La méthode de calcul et de réalisation des spectres est expliquée dans le fascicule annexe. Rappelons simplement que les paramètres physico-chimiques sont répartis en 7 classes et que ces spectres n'ont une signification que s'ils sont comparés à des spectres de référence donnant la distribution des valeurs physico-chimiques dans les différentes classes.

Dans ce chapitre, 3 périodes sont considérées : printemps, été et automne, mais les figures 54 à 61 donnent l'évolution mensuelle dans plusieurs stations.

Interprétation pour chacun des 17 taxons principaux (figures 54-61)

90. E EXIG *(Eunotia exigua)*

Il est largement admis que ce taxon est acidobionte. Dans la variante I.1 et son faciès I.2., il est largement dominant (95 à 100 %) pendant toute l'année. Dans la variante I.3, il est codominant avec E RHOM. Dans les autres variantes, son abondance relative diminue du printemps à l'automne. D'autre part, son abondance moyenne diminue et son développement est de plus en plus fugace, quand on passe de la variante I.4 au faciès III.10.

Nous le considérons comme un acidobionte toujours abondant dans les eaux dystrophes acides (stations 29, 252, 75), à développement printanier et estival dans les eaux acides présentant une alcalinité faible pendant l'été ou l'automne (stations 38, 133, 144...), et enfin, à développement uniquement printanier et occasionnel dans les eaux oligotrophes neutres à légèrement acides (stations 172, 121, 66, 42, 68). Il est rare dans les eaux neutres plus mésotrophes (stations 40, 91 ...).

Il y a donc un décalage, vers la période printanière, du développement de ce taxon quand on passe des eaux acides aux eaux neutres. C'est un premier exemple pour lequel la température n'intervient pas directement, mais, éventuellement, indirectement en favorisant la dissolution des roches et la production primaire consommatrice de CO_2. A ce moment, le pH peut augmenter et une alcalinité faible peut apparaître. Le spectre écologique de ce taxon pour la température est d'ailleurs semblable au spectre de référence, ce qui confirme son indépendance vis-à-vis de ce paramètre.

96. E RHOM *(Eunotia rhomboidea)*

Il est plus étroitement distribué dans les variantes I.3 et 4. Son développement est printanier et (ou) automnal, dans les eaux toujours très acides (pH moyen : 4) des stations du cluster I.3 où son abondance moyenne est maximale et dans les eaux, moins acides (pH moyen : 4.6) avec une faible alcalinité automnale, du cluster I.4. Les spectres écologiques d'E RHOM pour le calcium et les sulfates montrent un optimum plus accusé qu'E EXIG pour des teneurs plus élevées, ce qui peut expliquer son développement pendant la période automnale souvent marquée par une légère augmentation de la minéralisation, et pendant la période printanière quand les teneurs en sulfates sont plus élevées.

87. E CURV *(Eunotia curvata)*

Ce taxon acidobionte a un développement essentiellement printanier, dans des stations où les eaux sont acides en hiver et au printemps, légèrement acides avec une alcalinité faible pendant l'été et l'automne. Noté dans la majorité des stations, il n'est abondant que dans 2 d'entre elles (stations 30 et 39 de la variante I.4). Le spectre écologique montre une préférence certaine pour des températures de 4 à 8°C, ce qui explique son développement printanier. Son acidophilie empêche cependant son développement automnal, quand les températures sont du même ordre de grandeur mais que le pH et l'alcalinité sont vraisemblablement trop élevés.

32. AN SER B *(Anomoeoneis serians* var. *brachysira)*

Ce taxon caractérise, avec E CURV, la variante I.4, mais il s'agit d'un taxon qui se développe en été et en automne, dès qu'une légère alcalinité apparaît (moins de 2 ppm-$CaCO_3$). Son amplitude écologique est assez étroite : il a fortement régressé en octobre 1976, quand l'alcalinité a atteint 5 ppm-$CaCO_3$. D'autre part, à la station 43, l'eau est souvent un peu plus acide qu'à la station 39 et on observe, en conséquence, un décalage dans le temps : AN SER B est strictement automnal à la station 43 alors qu'à la station 39, il apparaît dès l'été (et même au printemps 1977). Il montre une certaine préférence pour des températures de 8 à 12°C que l'on observe à la transition été-automne.

On note encore ce taxon à titre tout à fait exceptionnel aux stations 93 (alcalinité nulle) et 38 (2 ppm-$CaCO_3$) en octobre 1976.

2. A AUST H *(Achnanthes austriaca* var. *helvetica)*

Dans les eaux les plus acides, A AUST H est peu abondant et augmente très peu en automne (station 140 et 173); dans les eaux un peu plus riches, le développement est estival (stations 42 et 143); dans les eaux de la station 145 où une alcalinité est mesurée pendant toute l'année, A AUST H est dominant au printemps et diminue rapidement en été et en automne quand l'alcalinité atteint 3-4 ppm-$CaCO_3$ On a ici un bel exemple d'évolution indépendante de la température mais déterminée par la physico-chimie.

409. TAB FLO *(Tabellaria flocculosa)*

Largement répandu dans toutes les stations, ce taxon n'est abondant que dans la station 31, pendant l'été, c'est-à-dire en présence d'une alcalinité faible de l'ordre de 5 ppm-$CaCO_3$ et d'un pH proche de 6.0. On le note aussi à la station 43 en octobre 1976 quand pH et alcalinité ont atteint des valeurs équivalentes. Il montre une légère préférence pour des températures comprises entre 10 et 20°C. Les variations mensuelles sont très semblables pour les trois années.

395. SU ROBA *(Surirella roba)*

Ce taxon rare dans les eaux très acides, et régulièrement noté dans les eaux neutres, atteint son optimum dans le type intermédiaire légèrement acide. Le développement est surtout printanier et estival (pH proche de 6.0 et alcalinité proche de 5-ppm $CaCO_3$), mais sans rapport avec une température particulière.

22. A SAXO *(Achnanthes saxonica)*

Il est souvent associé avec SU ROBA, mais présente des variations saisonnières différentes, avec une préférence pour l'été et l'automne à la station 119. Aux stations 172 et 121, le pH est légèrement plus élevé : le développement d'A SAXO est plutôt printanier et alors simultané avec celui de SU ROBA.

104. E PECT M *(Eunotia pectinalis* var. *minor)*
136. FRA VI *(Fragilaria virescens)*

Ces deux taxons sont souvent notés en compagnie des deux précédents (SU ROBA et A SAXO). C'est dans la variante II.7 (stations 119, 31, 172 et 121), pour un pH proche de 6.0, qu'ils atteignent un développement plus important, FRA VI plutôt au printemps, et E PECT M plutôt en automne, en relation avec son amplitude écologique plus étendue vers les valeurs élevées d'alcalinité.

162. GO PARV *(Gomphonema parvulum)*

Les variations saisonnières ne sont pas claires : le développement est plutôt automnal dans les variantes II.6 et 7 (eau de type intermédiaire légèrement acide), plutôt printanier pour la variante II.8 (eau neutre à tendance acide), très variables d'une station à l'autre pour la variante III.9 et le faciès III.10.

19. A MINU *(Achnanthes minutissima)*

Ce taxon est, avec E EXIG, le plus abondant pour l'ensemble des 430 relevés.

Dans les eaux très acides à intermédiaires acides, il apparaît surtout lors de l'étiage d'octobre 1976 (faciès I.2 et variante I.4).

Pour le type intermédiaire légèrement acide , il faut distinguer la variante II.7 d'eau peu minéralisée où A MINU est rare au printemps et se développe en été et en automne, de la variante II.6 d'eau plus minéralisée où A MINU est abondant pendant toute l'année.

Pour cette variante II.6, nous avons observé un retour rapide vers des conditions plus acides après les pluies importantes, ce qui explique l'irrégularité de l'évolution saisonnière de ce taxon et, parallèlement, de celle d'E EXIG. Il s'agit donc d'un équilibre instable entre taxons acidophiles et neutrophiles, plutôt à l'avantage de ces derniers en automne. Si le retour à des conditions plus acides est trop bref, on peut observer une discordance entre le nombre d'A MINU et les valeurs de pH et d'alcalinité lors du prélèvement (par exemple, 40 % d'A MINU pour un pH de 4.6 et une alcalinité nulle à la station 170 en avril 1977).

A MINU est dominant dans les variantes II.8, III.9 et le faciès III.10 d'eau neutre. Dans la variante II.8, la plus oligotrophe, il est plus abondant au printemps puis régresse en faveur de FRA CAP. Comme A MINU a une amplitude écologique plus large et peut se développer dans un milieu plus acide que FRA CAP, il est possible que, dans cette variante, il soit plus concurrentiel au printemps, quand le pH est légèrement acide (6.4 en moyenne). D'autre part, FRA CAP semble préférer des températures estivales et automnales (optimum entre 12 et 16°C).

Dans la variante III.9 et le faciès III.10, l'abondance d'A MINU est plus faible au printemps en raison du développement printanier de taxons qui sont très rares dans la variante II.8 (FRA VA, CY MIN, DIA HI M).

Pour A MINU, le développement maximum est donc noté au printemps, en été ou en automne suivant la composition physico-chimique de l'eau. La littérature situe son développement au printemps et en automne (tableau 85).

124. FRA CAP *(Fragilaria capucina* var. *lanceolata)*

Ce taxon est le troisième en importance pour les 430 relevés. En raison de son amplitude écologique plus étroite que celle d'A MINU (voir spectres écologiques), il n'atteint une abondance relative élevée que dans les variantes II.7, II.8 et III.9 et est rare dans les eaux les plus acides et (ou) les plus minéralisées.

Dans la variante I.4 d'eau intermédiaire acide, FRA CAP n'apparaît qu'en octobre 1976 : il devient alors dominant et est accompagné de quelques A MINU (également un développement plus faible en septembre 1978 à la station 39).

Dans la variante II.6 d'eau intermédiaire légèrement acide, il n'est abondant qu'à la station 63 en juin 1976.

Dans la variante II.7 d'eau neutre à tendance acide et peu minéralisée (0.77 méq/l), FRA CAP est présent pendant toute l'année, mais son développement maximum est estival (plutôt automnal à la station 31, quand l'alcalinité dépasse 5 ppm-$CaCO_3$). Il est rare à la station 119 où l'alcalinité est généralement plus faible.

C'est dans la variante II.8, d'eau neutre et peu minéralisée (0.83 méq/l), que FRA CAP est le plus abondant, surtout en été et en automne.

Enfin, dans la variante III.9, la minéralisation plus élevée (1.01 méq/l) explique l'abondance moyenne plus faible de FRA CAP et son développement plutôt automnal reste cependant limité

FRA CAP semble plus étroitement lié à un niveau trophique déterminé (0.6-0.7 méq/l quand le pH est neutre, jusqu'à 1 méq/l en eau acide de pH 6.0) et montre une certaine préférence pour des températures entre 12 et 16°C. Le tableau 86 reflète cette amplitude écologique plus limitée puisque le développement est estival et (ou) automnal dans toutes les variantes. Cette conclusion concorde avec les données de la littérature (tableau 85), mais KLASVIK (1974) cite aussi ce taxon en mai en eau légèrement calcaire.

167. HANN A *(Hannaea arcus)*

Ce taxon a une distribution limitée à quelques stations des variantes II.8 et III.9 (stations 154, 47, 42, 122, 88, 98, 91). Son développement est

typiquement estival dans les stations 47, 42 et 122 pendant les trois années, plutôt printanier dans les stations 154 et 88. Cette périodicité correspond aux données de la littérature (tableau 85). Les abondances relatives les plus élevées sont observées à un pH de 6.8 à 7.0, une alcalinité de 7 ppm-$CaCO_3$ et une minéralisation d'environ 0.7 méq/l. Le spectre écologique montre une préférence pour des températures de 12 à 16 °C. Son écologie, dans la région étudiée, est donc bien définie.

134. FRA VA *(Fragilaria vaucheriae)*
75. DIA HI M *(Diatoma hiemale* var. *mesodon)*

Bien que les variations saisonnières soient souvent de faible amplitude en raison de leur abondance relative généralement peu importante, leur développement essentiellement printanier est assez évident.

Pour FRA VA, les auteurs (tableau 85) signalent aussi un développement surtout au printemps. Le spectre écologique ne montre cependant aucune préférence pour des températures basses, car ce taxon , moins sensible à la pollution, est aussi trouvé en eaux polluées qui sont souvent moins froides.

D'autre part, le développement printanier de DIA HI M est un fait signalé par SABATER (1983) et JOHANSSON (1982) et lié à son caractère montagnard donc à sa préférence pour des eaux froides (HUSTEDT, 1930; CLEVE-EULER, 1953; PIERRE, 1969), mais WASYLIK (1965) le signale aussi en été, dans une station d'un cours d'eau de Pologne. Le spectre écologique montre une préférence pour des températures fraîches entre 4 et 8°C, mais ce taxon semble aussi tributaire de l'évolution de certains paramètres chimiques. On le note, par exemple, à 1.2 % d'abondance relative en été, à la station 75 (variante I.1) au seul moment où le pH est moins acide (5.7) et où l'alcalinité atteint 2 ppm-$CaCO_3$ alors qu'elle y est habituellement nulle. A la station 13 (variante III.9) en 1976, son abondance relative est de 13 % en mars (7°C), 29 % en juin (13°C) et 12 % en octobre (7.4°C). Il reste donc abondant pendant toute l'année, même dans les conditions extrêmes d'octobre 1976, alors qu'il disparaît dans toutes les autres stations et il atteint un maximum en juin à une température de 13°C. Or, à cette station, des paramètres tels que la température, la minéralisation, l'alcalinité,... varient normalement sauf le pH qui reste très stable. Le rôle joué par le pH dans le développement de ce taxon ressort également du spectre écologique (optimum marqué de 6.5 à 7.5).

62. CY MIN *(Cymbella minuta)*

Ce taxon peut atteindre une abondance relative élevée dans la variante III.9 et le faciès III.10 (50 % à la station 98 en mars 1976 !). Il est impossible de reconnaître une période de développement préférentielle : automne à la station 42, printemps à la 98, été à la 40, été et automne à la 67, printemps et automne à la 91 en 1978 etc... De même, dans des eaux plus riches, WACYLIK (1965) cite un développement printanier et automnal dans la partie amont et estival dans la partie aval d'une même rivière. C'est en fait un taxon assez résistant à la pollution et d'eau plus minéralisée (voir spectres).

Conclusions

L'étude des variations mensuelles de l'abondance relative des 17 taxons principaux qui caractérisent les 10 variantes et faciès précédemment décrits, nous amène à formuler quelques remarques importantes.

Les variations saisonnières que nous avons observées sont principalement liées à des modifications chimiques des eaux, plus rarement à celles de la température. De plus, ce paramètre, quand il intervient, n'agit pas nécessairement de façon directe, mais il influence la dissolution des roches et la productivité primaire. C'est aussi pendant les périodes chaudes que les débits sont souvent plus faibles et nous avons vu l'influence de la pluviosité sur le pH et la minéralisation de l'eau (chapitre 3.3.).

Seuls E CURV, AN SER B, HANN A, DIA HI M (et dans une moindre mesure, FRA CAP), montrent une préférence modérée pour une gamme de températures plus limitée. Cette préférence se voit confirmée par le fait que les données de la littérature, en région tempérée et dans des types d'eau très divers, concordent avec nos résultats.

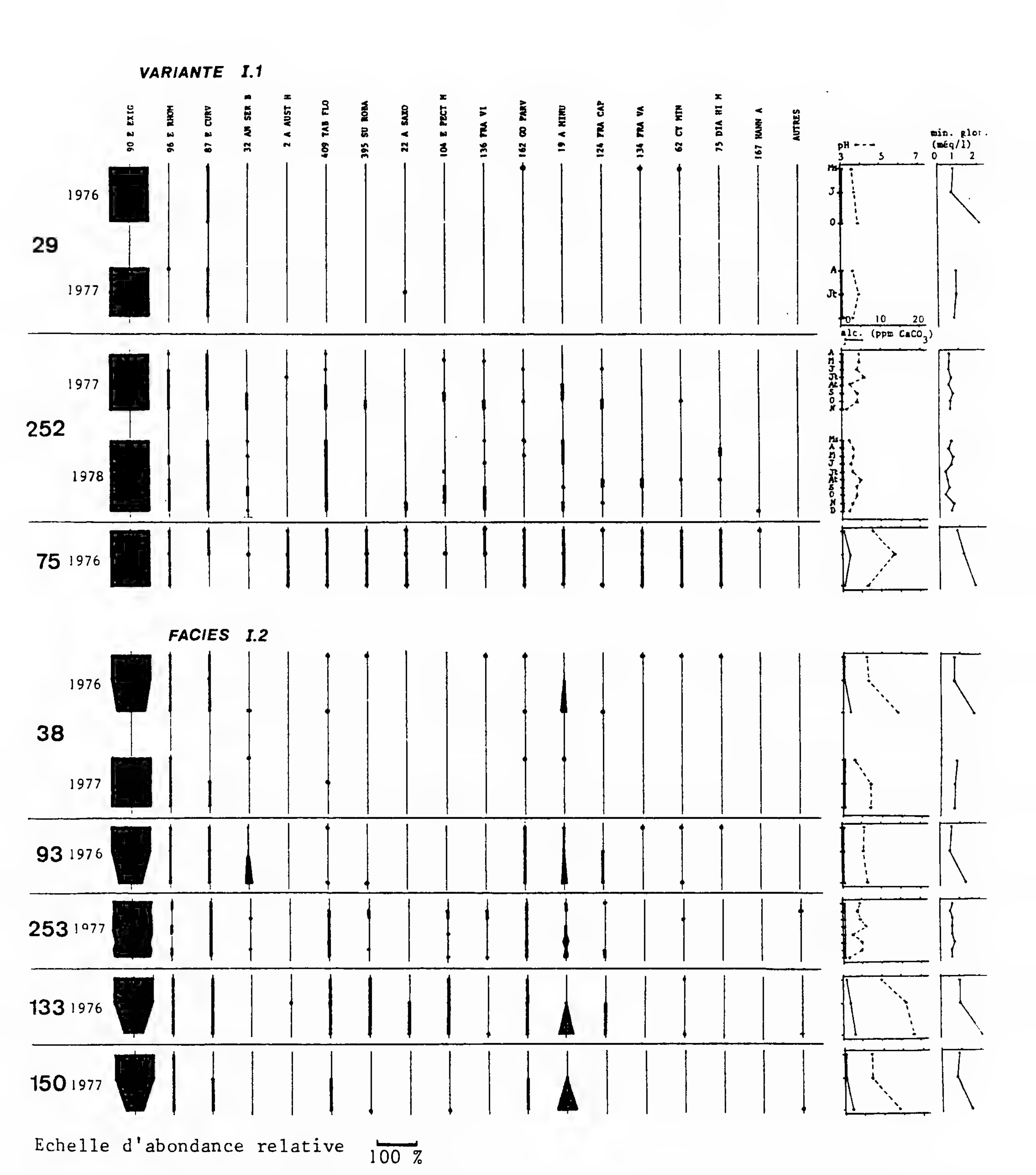
Par contre, pour les autres taxons, dépendant surtout des paramètres physico-chimiques, la grande variété de types d'eau se traduit par des développements à des époques très différentes : en rassemblant les données de la littérature et les nôtres (tableaux 85 et 86), on se rend compte que l'abondance maximale se présente au printemps, en été ou en automne suivant les types chimiques. Nous en avons donné quelques exemples particulièrement probants, dans des conditions climatiques équivalentes (E EXIG, A AUST H, A MINU, FRA CAP).

Taxons	Assemblages									
	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5	II.6	II.7	II.8	III.9	III.10
E EXIG	} pas de variations saisonnières	print.-été	print.-été	print.-été ou été	été-aut.	print.-été	print (été)			
E RHOM		—	print.-aut. ou aut.	print.-aut.	—	—	—	—	—	—
E CURV	—	—	—	print. ou print.-aut.	—	—	—	—	—	—
AN SER B	—	aut.	—	été-aut.	—	—	—	—	—	—
A AUST H	—	—	—	—	print.,été,aut. selon pH !	—	—	—	—	—
TAB FLO	—	—	—	—	—	—	été	—	—	—
SU ROBA	—	—	—	—	—	—	print.-été	—	—	—
A SAXO	—	—	—	—	—	—	print.-été ou aut.	—	—	—
E PECT H	—	—	—	—	—	—	print.-aut.	—	—	—
FRA VI	—	—	—	—	—	—	print.	—	—	—
GO PARV	—	—	—	—	—	—	(été) aut.	print. (aut.)	print.-été-aut.	print.-été-aut.
A MINU	—	aut. (oct. 76)	—	aut. (oct. 76)	—	—	aut.	print.-été	été-aut.	été-aut.
FRA CAP	—	—	—	aut. (oct. 76)	—	—	été ou aut.	été-aut.	été-aut.	—
FRA VA	—	—	—	—	—	—	—	—	print.	—
CY MIN	—	—	—	—	—	—	—	—	(print.) été-aut.	print.
DIA HI M	—	—	—	—	—	—	—	—	print. (été)	print.
HANN A	—	—	—	—	—	—	—	(print.) été	(print.) été	—

Tableau 86.- Variations saisonnières des principaux taxons pour les 10 assemblages moyens de diatomées : synthèse pour les années 1976, 1977 et 1978. Les périodes indiquées (print. = printemps; été; aut. = automne) correspondent aux développements maximums.

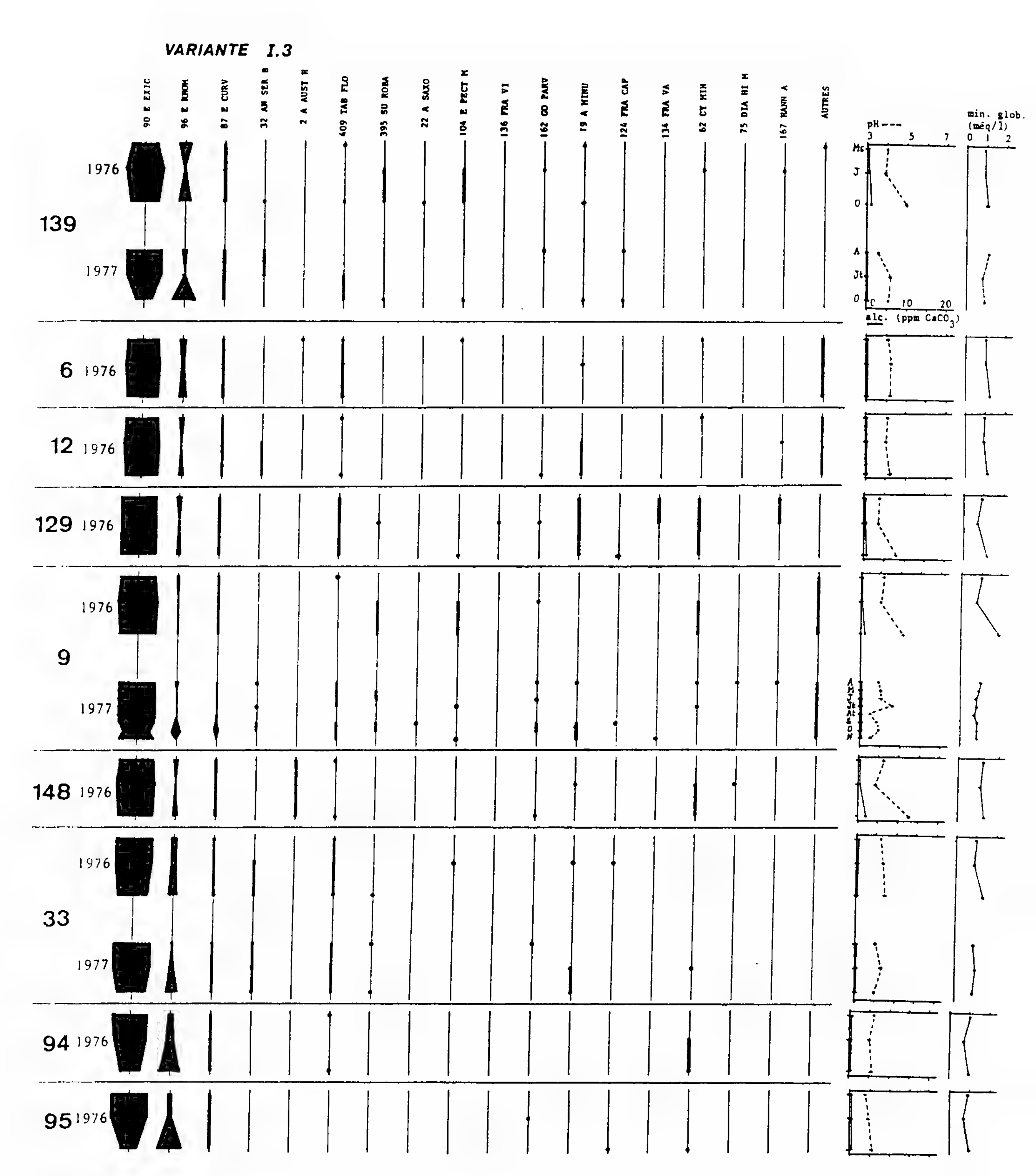
L'analyse mensuelle permet de mieux comprendre l'écologie de certains taxons (par exemple, l'évolution de FRA CAP montre que ce taxon préfère des eaux plus oligotrophes qu'A MINU) ou de nuancer certains concepts largement admis mais parfois trop schématiques comme le développement de DIA HI M exclusivement en eau froide . Enfin, l'étude mensuelle de milieux de type intermédiaire acide à légèrement acide, permet de préciser l'écologie mal connue de taxons habituellement rares mais qui trouvent, dans ces milieux particuliers, des conditions favorables à leur développement. Il s'agit notamment de AN SER B, A AUST H, SU ROBA, A SAXO, HANN A.

La période d'étiage exceptionnel d'octobre 1976, accompagnée d'une augmentation sensible, elle aussi exceptionnelle, de la minéralisation est également riche d'enseignements. Elle a mis en évidence l'effet de certaines situations géologiques particulières qui nous aurait échappé dans des conditions normales (contacts brefs de l'eau avec des roches plus riches).



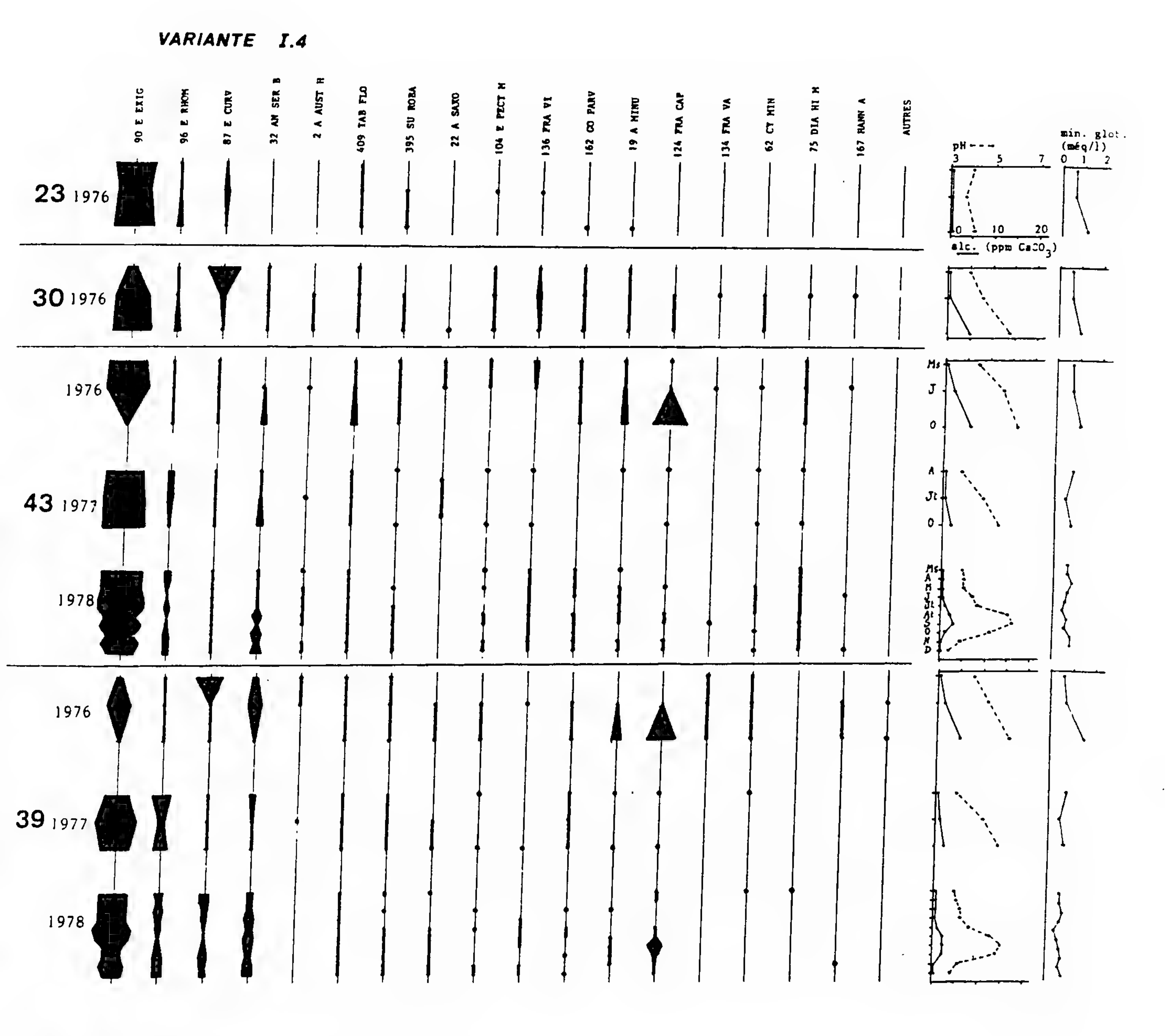
Echelle d'abondance relative 100 %

Figure 54.- Variations saisonnières, pour la variante I.1 et le faciès I.2, de l'abondance relative des principaux taxons et des valeurs de pH, de l'alcalinité et de la minéralisation globale.
En 1976 : prélèvements en mars, juin et octobre.
En 1977 : prélèvements en avril, juillet et octobre ou prélèvements mensuels d'avril à novembre.
En 1978 : prélèvements mensuels de mars à décembre.



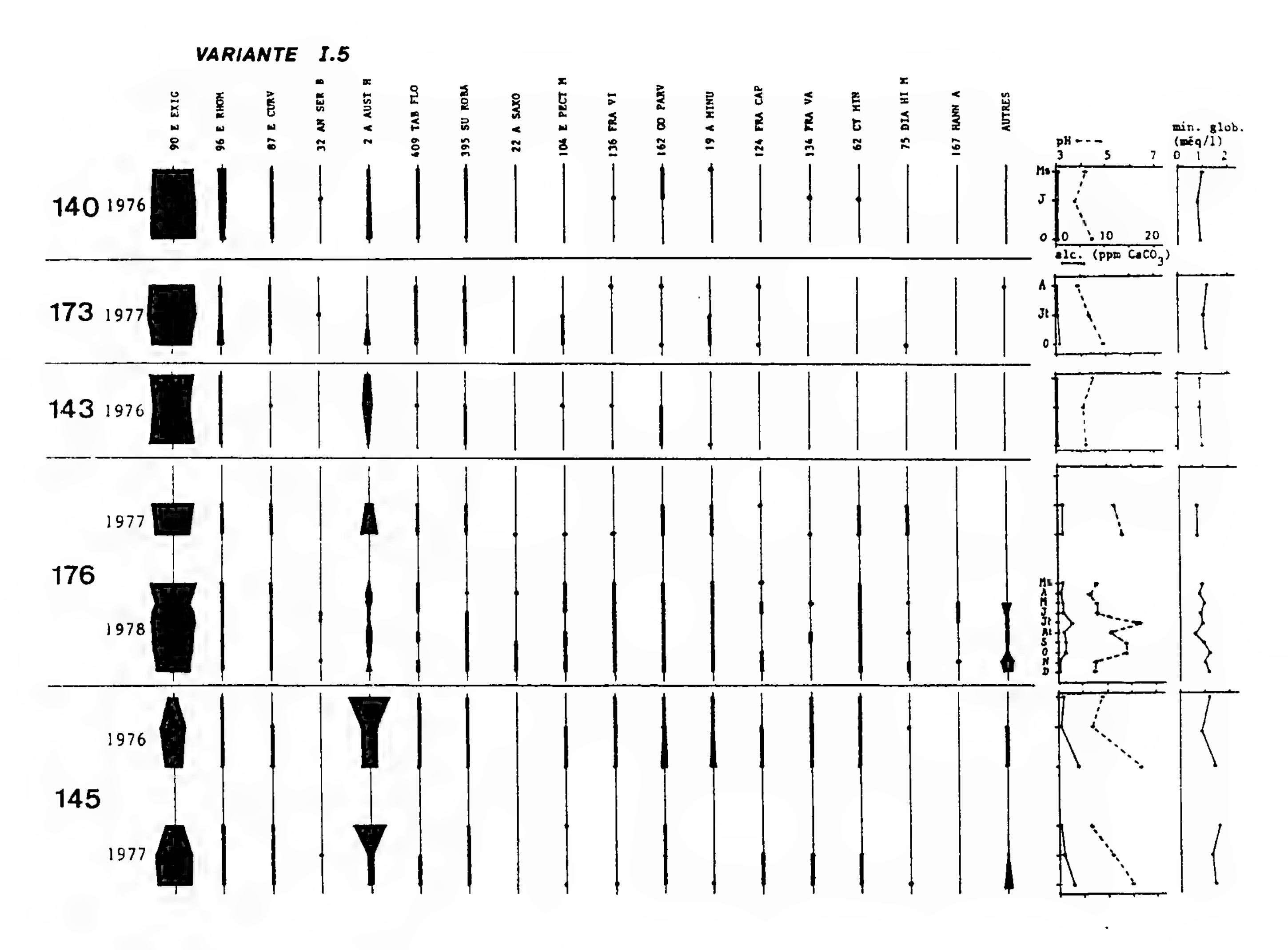
Echelle d'abondance relative 100 %

Figure 55.- Variations saisonnières, pour la variante I.3, de l'abondance relative des principaux taxons et des valeurs du pH, de l'alcalinité et de la minéralisation globale.
En 1976 : prélèvements en mars, juin et octobre.
En 1977 : prélèvements en avril, juillet et octobre ou prélèvements mensuels d'avril à novembre.



Echelle d'abondance relative 100 %

Figure 56.- Variations saisonnières, pour la variante I.4, de l'abondance relative des principaux taxons et des valeurs du pH, de l'alcalinité et de la minéralisation globale.
En 1976 : prélèvements en mars, juin et octobre.
En 1977 : prélèvements en avril, juillet et octobre.
En 1978 : prélèvements mensuels de mars à décembre.



Echelle d'abondance relative 100 %

Figure 57.- Variations saisonnières, pour la variante I.5, de l'abondance relative des principaux taxons et des valeurs du pH, de l'alcalinité et de la minéralisation globale.
En 1976 : prélèvements en mars, juin et octobre.
En 1977 : prélèvements en avril, juillet et octobre.
En 1978 : prélèvements mensuels de mars à décembre.

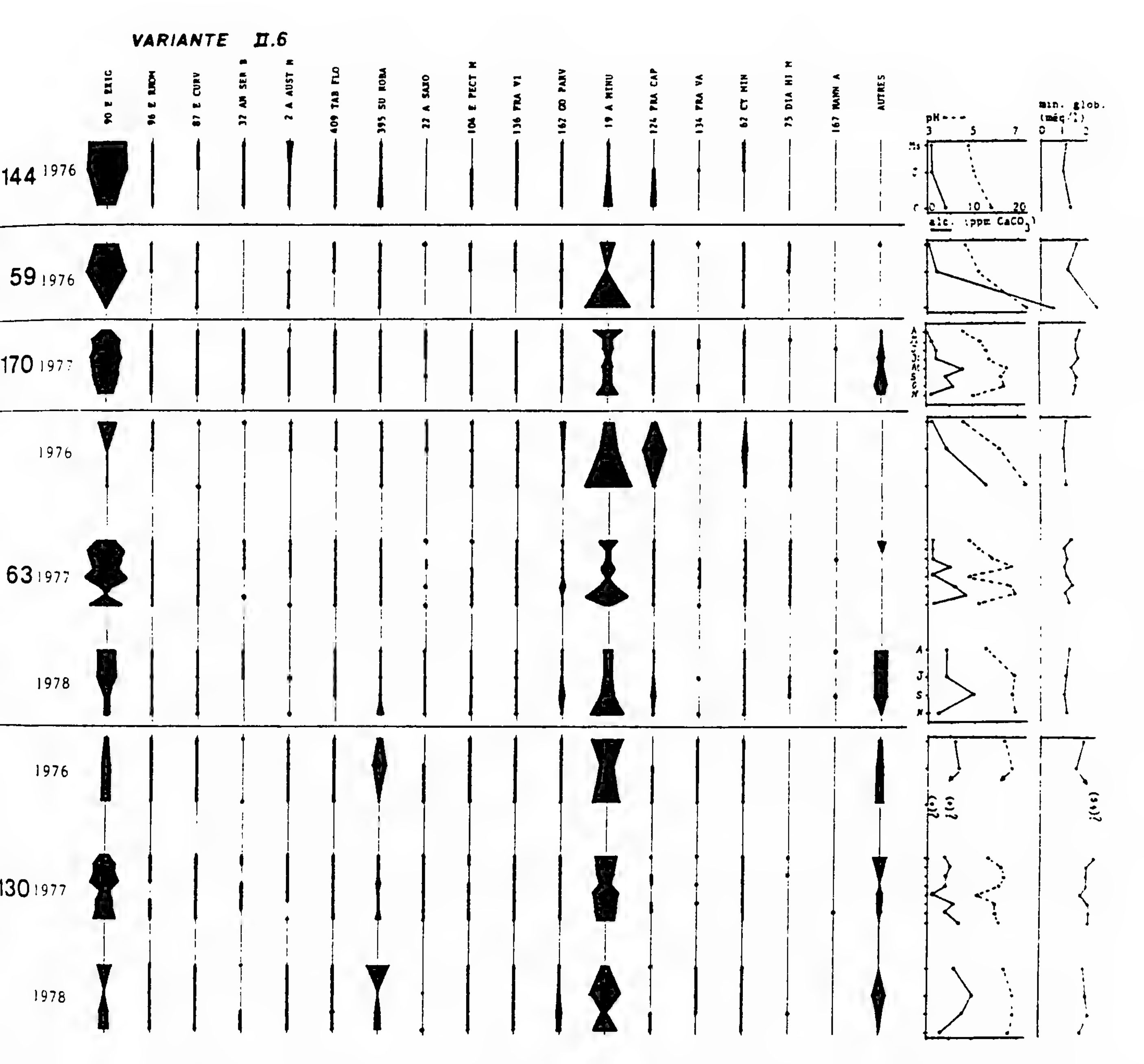
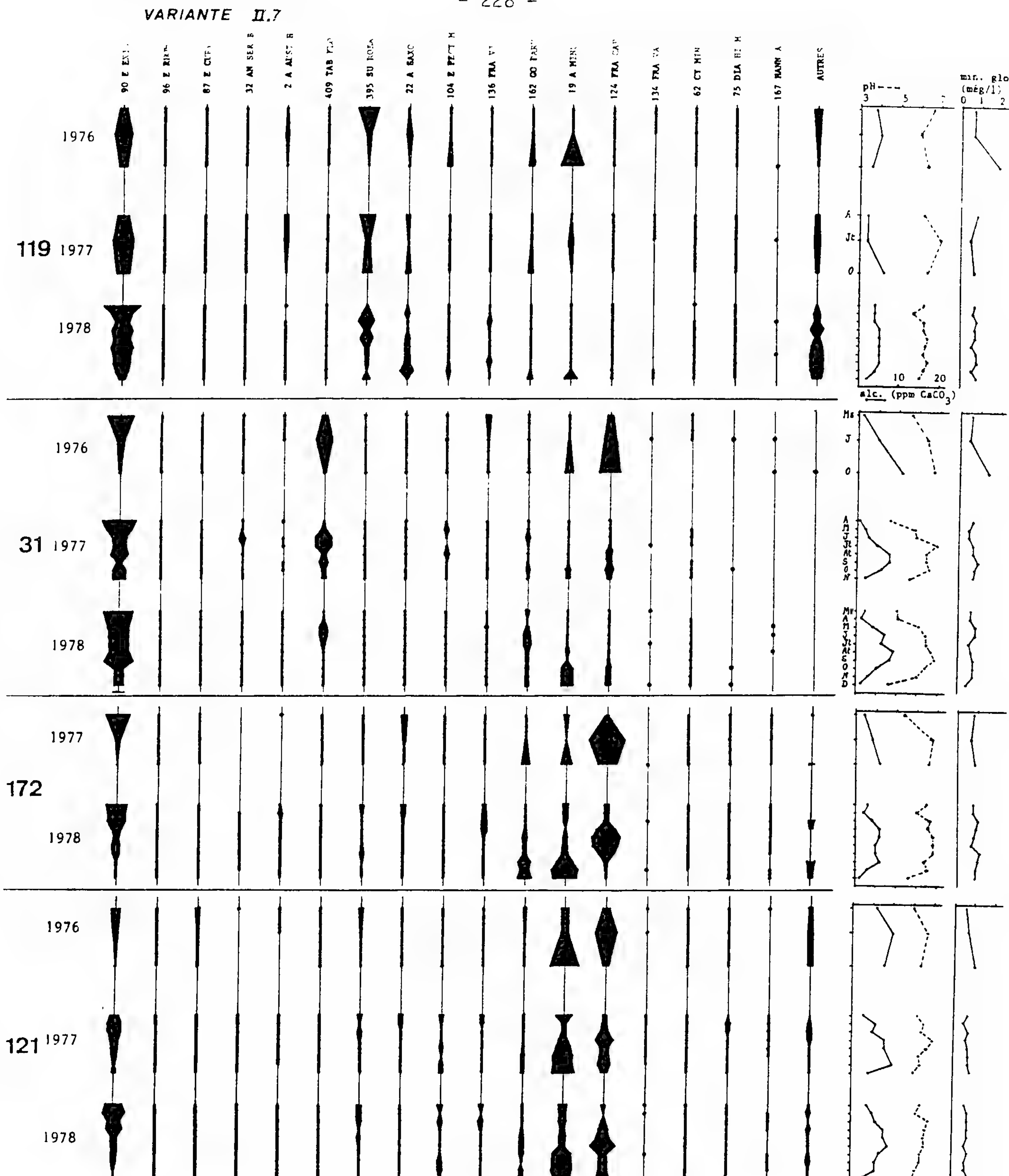


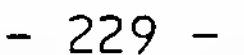
Figure 58 .- Variations saisonnières, pour l'assemblage II.6, de l'abondance relative des principaux taxons et des valeurs du pH, de l'alcalinité et de la minéralisation globale.
En 1976: prélèvements en mars, juin et octobre.
En 1977: prélèvements mensuels d'avril à novembre.
En 1978: prélèvements en avril, juillet, septembre et novembre.

Echelle d'abondance relative 100 %



Echelle d'abondance relative 100 %

Figure 59.- Variations saisonnières, pour la variante II.7, de l'abondance relative des principaux taxons et des valeurs du pH, de l'alcalinité et de la minéralisation globale.
En 1976 : prélèvements en mars, juin et octobre.
En 1977 : prélèvements en avril, juillet et octobre ou prélèvements mensuels d'avril à novembre.
En 1978 : prélèvements mensuels de mars à décembre.



VARIANTE II.8

90 E EXIG | 96 E RHOM | 87 E CURV | 32 AN SER B | 2 A AUST H | 409 TAB FLO | 395 SU ROBA | 22 A SAXO | 104 F PECT M | 136 FRA VI | 162 GO PARV | 15 A MINU | 124 FRA CAP | 134 FRA VA | 62 CY MIN | 75 DIA HI M | 167 HANN A | AUTRES

pH - - - 3 5 7

min. glob. (méq/l) 0 1 2

alc. (ppm $CaCO_3$) 0 10 20

66 1976
1977

15 1976

20 1976

154 1977

47 1976
1977
1978

VARIANTE III.9

42 1976
1977

122 1976
1977
1978

Echelle d'abondance relative 100 %

Figure 60.- Variations saisonnières, pour les variantes II.8 et III.9, de l'abondance relative des principaux taxons et des valeurs du pH, de l'alcalinité et de la minéralisation globale.
En 1976 : prélèvements en mars, juin et octobre.
En 1977 : prélèvements en avril, juillet et octobre ou prélèvements mensuels d'avril à novembre.
En 1978 : prélèvements mensuels de mars à décembre.

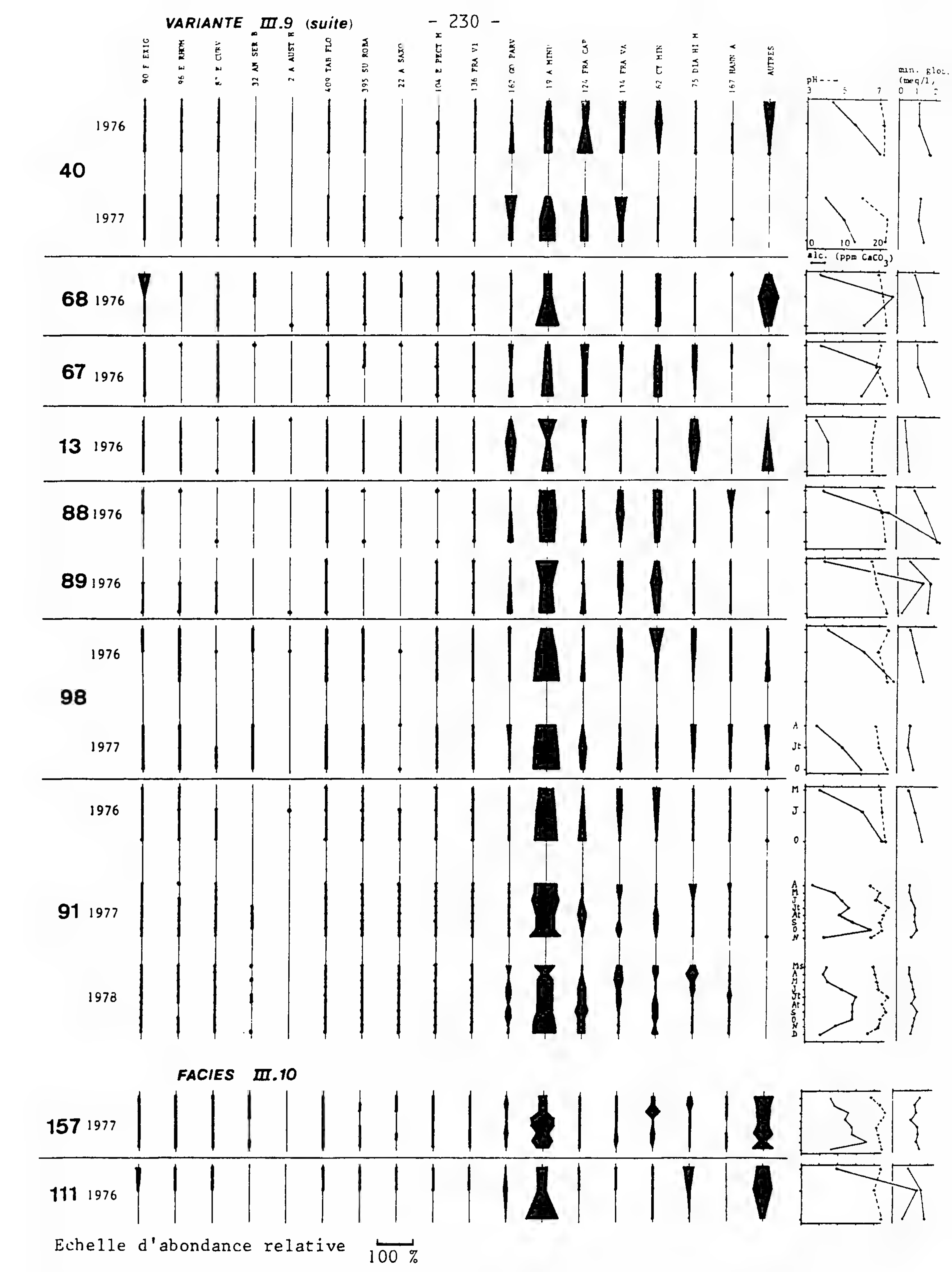


Figure 61.- Variations saisonnières, pour la variante III.9 et le faciès III.10, de l'abondance relative des principaux taxons et des valeurs du pH, de l'alcalinité et de la minéralisation globale.
En 1976 : prélèvements en mars, juin et octobre.
En 1977 : prélèvements en avril, juillet et octobre ou prélèvements mensuels d'avril à novembre.
En 1978 : prélèvements de mars à décembre.

5.3.6.2.2. Evolution saisonnière des peuplements dans leur ensemble

Introduction

Nous avons dit que la composition chimique moyenne de l'eau déterminait le type de peuplement moyen qu'on y trouve, alors que les variations de certains paramètres tels que le pH, l'alcalinité, la minéralisation globale et quelquefois la température pouvaient expliquer les variations saisonnières de l'abondance relative de certains taxons au sein de ces peuplements.

Après avoir déterminé les types naturels de référence à l'aide des tableaux 71, 73 à 77 et 81, nous allons à présent décrire la dynamique des peuplements au cours des saisons.

Nous disposons, pour cette étude, de 3 prélèvements en 1976 (mars, juin et octobre), de 3 ou 8 prélèvements en 1977 (avril, juillet et octobre ou, mensuellement, d'avril à novembre suivant les stations) et de 4 ou 10 prélèvements en 1978 (avril, juillet, septembre et novembre ou, mensuellement, de mars à décembre, suivant les stations).

Pour déterminer dans quelle mesure et dans quel sens le peuplement réel d'une station s'écarte de la variante ou du faciès moyen auquel elle se rattache, nous avons utilisé une représentation basée sur une schématisation du tableau écologique moyen (tableau 71) et reprenant les 25 taxons considérés pour la description de la composition des 10 variantes et faciès moyens. Il s'agit d'une grille de 10 lignes (une par variante ou faciès), composée de carrés en traits continus ou interrompus, qui délimitent, comme dans le tableau 71, les taxons caractéristiques. Les carrés en traits continus correspondent aux zones de développement maximum des taxons dans le tableau moyen. On trouve donc, à la première ligne, un seul carré correspondant à la variante I.1 où E EXIG est seul dominant; à la troisième ligne, deux carrés pour E EXIG dominant et E RHOM codominant, et ainsi de suite.

Une grille a été remplie par prélèvement, sauf pour quelques stations d'eau acide où il n'y a aucune variation saisonnière.

Pour chaque taxon, on procède par comparaison entre le nombre qu'il atteint dans un relevé et l'éventail de nombres moyens dans chaque cluster. On peut aussi se référer, surtout pour les taxons moins abondants, aux abondances rela-

tives moyennes calculées par cluster de station (chapitre 5.3.5.3.) et caractérisant chaque peuplement moyen. Seuls les taxons comptés à plus de 1 % sont considérés. Lorsqu'on choisit pour un taxon un carré délimité par un trait, il est noirci tandis que les carrés en traits interrompus sont marqués d'une croix.

On obtient ainsi, pour chaque prélèvement de chaque station, une visualisation du peuplement qui correspond, généralement au moins une fois par an, à une des variantes moyennes, mais qui peut s'en écarter plus ou moins à certaines périodes de l'année.

Les résultats de 338 relevés dans 49 stations sont rassemblés sous cette forme dans les figures 62 à 86 . Les stations y sont rangées dans l'ordre du tableau écologique moyen (tableau 71).

Quand une grille est remplie, on peut la résumer en une expression chiffrée où chaque chiffre (de 1 à 10) correspond à une ligne occupée par un taxon au moins (carrés noircis ou marqués d'une croix). Le numéro d'une ligne seulement marquée de croix est mis entre parenthèses. L'ordre des numéros dépend de l'abondance relative du ou des taxons de chaque ligne : on commence par la ligne où le taxon le plus abondant se trouve noté. Ainsi, le premier ou les deux premiers chiffres représentent la plus grande part de l'abondance relative. L'expression chiffrée se trouve inscrite dans le coin supérieur droit de chaque grille.

Nous donnons ici un exemple de grille remplie pour la station 43 en octobre 1976.

Le relevé comprend :			
	E EXIG	: 11	valves
	E RHOM	: 16	valves
	AN SER B	: 31	valves
	P HILS	: 1	valve
	TAB FLO	: 43	valves
	A MINU	: 28	valves
	FRA CAP	:368	valves
	DIA HI M	: 1	valve
	Total	499	valves

Les taxons P HILS et DIA HI M ne sont pas considérés (moins de 1 % d'abondance relative, soit moins de 5 valves comptées).

Chaque taxon est indiqué dans la variante ou le faciès adéquat d'après son abondance. L'expression chiffrée est alors 7/4/5(9).

On en conclut que ce peuplement est à rattacher de façon prépondérante à la variante II.7, en raison du nombre élevé de FRA CAP avec, cependant, un certain nombre de taxons acidophiles dont l'optimum se situe dans les variantes I.4 et I.5. E EXIG, taxon acidobionte, est en dehors de sa zone optimum : le numéro de la ligne où il est coché est donc mis entre parenthèses.

L'interprétation de l'expression chiffrée dépend de la signification écologique du tableau moyen : nous rappelons que le classement des stations, obtenu par analyse des relevés de diatomées, correspond à un pH et une alcalinité croissants et que les premières variantes I.1 à I.5 sont constituées essentiellement de taxons acidobiontes à acidophiles, les variantes centrales II.6 et II.7, d'un mélange d'acidophiles et de neutrophiles et les dernières variantes II.8, III.9 et III.10 surtout de neutrophiles. Dès lors, on peut interpréter rapidement la signification de l'expression chiffrée et de son évolution au cours du temps. Si elle commence par un chiffre de 1 à 5, on sait qu'un ou plusieurs taxons acidophiles dominent. Si, pour la même station, en été, elle commence par le chiffre 8, on comprendra que le peuplement s'est fortement modifié par régression des acidophiles et augmentation des neutrophiles.

Résultats

Nous allons examiner en détail, pour les stations de chaque cluster prospectées plusieurs fois (III.10 exclu puisque c'est un faciès d'altération), l'évolution saisonnière du peuplement par rapport aux variantes et faciès moyens typiques. Nous évaluerons, à cette occasion, la précision de la méthode que nous venons d'exposer, et ses possibilités quand on dispose de relevés mensuels.

Variante I.1 (E EXIG dt) et faciès I.2 (E EXIG dt + A MINU, GO PARV) (figure 62-63)

Les variations saisonnières, généralement très faibles, ne sont pas significatives dans la variante I.1. Pour les stations du cluster I.2., lors de circonstances exceptionnelles comme l'étiage d'octobre 1976, le peuplement s'enrichit d'un taxon neutrophile, A MINU, dans toutes les stations en contact avec des roches plus riches que celles du Revinien 2 (Revinien 3, Salmien, tonalite).

Les expressions chiffrées montrent bien que l'on passe de la variante I.1 en période normale au faciès I.2 en période d'étiage et sans modification du pH (station 253, en septembre et novembre 1977) et même à un peuplement de type prépondérant I.3 (station 38), I.4 (station 93) et II.6 (station 133, apparition de SU ROBA) en octobre 1976 (pH plus élevé mais encore acide de l'ordre de 5-6).

Ces modifications importantes sont dues à la diminution d'E EXIG et à l'apparition et au développement d'A MINU, neutrophile et de quelques autres taxons (FRU R SA, AN SER B, NI ARCH, SU ROBA) qui sont des acidophiles moins stricts.

Variante I.3 (E EXIG dt, E RHOM cdt (E CURV)) (figures 63-64)

Cette variante est, avec la variante I.1, l'une des plus stables, puisque peu de modifications sont survenues même en octobre 1976, sauf à la station 162 (passage du type I.1 au type I.4).

La modification de la physionomie de cette variante consiste en la dominance de E EXIG ou de E RHOM suivant le moment de l'année. On peut ainsi passer d'un peuplement correspondant à la variante I.1 en été (E EXIG dt) à un peuplement de type I.3 au printemps ou en automne (E RHOM dt), c'est-à-dire quand les teneurs en sulfates peuvent favoriser ce taxon, comme nous l'avons dit plus haut (chapitre 5.3.6.2.1). Par exemple, en 1977, le peuplement de la station 9 passe par les types I.3 en avril, I.1 (2) en mai, I.1 (2) (3) en juin, I.3 en juillet-août-septembre et I.3/4 en octobre-novembre.

Comme dans la variante I.1, aucun taxon neutrophile ne se développe en I.3, même lors des circonstances exceptionnelles d'octobre 1976.

Variante I.4 (E EXIG dt, E RHOM, E CURV cdt, FRU R SA) (figures 65 à 67)

On aborde ici un premier type intermédiaire acide, en contact avec différents substrats géologiques plus ou moins riches. Les variations saisonnières y sont très marquées et liées à l'augmentation, pendant l'été et l'automne, du pH et de l'alcalinité dont les valeurs dépendent beaucoup de paramètres climatiques tels que la température et surtout la pluviosité. L'irrégularité de l'évolution de ces paramètres explique certaines fluctuations des peuplements, quand on les examine chaque mois avec notamment des retours momentanés vers des conditions plus acides et l'augmentation conséquente de taxons acidophiles,

tels que E EXIG, E RHOM, ... lors de pluies importantes, même estivales.

Nous avons choisi comme exemples caractéristiques les stations 43 et 39, les eaux de la première étant souvent un peu plus acides. Ces deux stations appartiennent à la même variante moyenne I.4. Les expressions chiffrées, réduites aux deux premiers chiffres qui totalisent une grande part de l'abondance relative, évoluent comme suit (tableau 87).

Année	Station	ms	a	m	j	jt	at	s	o	n	d
1976	43	4/7	-	-	3	-	-	-	7/4	-	-
	39	4/5	-	-	4/5	-	-	-	8/5	-	-
1977	43	-	3	-	-	3	-	-	5/4	-	-
	39	-	4/3	-	-	3	-	-	4/3	-	-
1978	43	3	3	3	1	3	4	3/7	4/7	4	4
	39	4/3	4	4/3	4	3/4	4	6/7	4/3	4/3	6/4

Tableau 87.- Variations saisonnières des peuplements aux stations 39 et 43.

En 1977 et 1978, on peut considérer que les variations saisonnières sont d'assez faible amplitude (passage de I.3 à I.4, 5 ou 6) et que les acidophiles dominent. Par contre, en octobre 1976, le peuplement est fondamentalement différent de tous ceux que nous avons habituellement trouvés dans ces stations : l'acidophile E EXIG devient accessoire et ce sont les neutrophiles A MINU et FRA CAP qui dominent. Ce changement, un des plus spectaculaires que nous ayons observés est parallèle à l'augmentation de pH de 4.5 en mars à 6.2 en octobre 1976.

Un taxon particulier, AN SER B a un développement estival et automnal assez important (plus ou moins 20 % d'abondance relative) pendant les 3 années.

Trois éléments ressortent de ce tableau 87 :

a- nous avons dit que la station 43 était souvent un peu plus acide que la 39 mais la différence de pH n'excède jamais 0.6 unité. Des écarts aussi faibles, mais constants, suffisent pour expliquer les différences entre les peuplements de diatomées de ces deux stations et notre système de grille et d'expression chiffrée est suffisamment précis pour les faire ressortir. En effet, on observe souvent un léger décalage des peuplements de la station 43 vers les variantes acidophiles (premier chiffre de l'expression, inférieur à celui de la station 39), même en octobre 1976.

b- notre système met aussi en évidence des différences interannuelles pour lesquelles une explication climatique existe : variante II.7 et II.8 en octobre 1976 (année très sèche), variantes I.3, 4 ou 5 en octobre 1977 (année pluvieuse) et variantes I.3 et 4 pour la station 43 et I.4 et II.7 pour la station 39 en octobre 1978 (année normale). On voit donc que les peuplements de diatomées sont d'autant plus riches en acidophiles que l'année est pluvieuse. Pour 1977 et 1978, cette différence ressort des expressions chiffrées mais pas des valeurs moyennes de pH calculées sur 3 et 10 mesures (4.8 en 1977 et 4.7 en 1978);

c- Les variations saisonnières des peuplements correspondent à un seul cycle par an (passage progressif des peuplements de printemps à ceux d'automne) et on retrouve, après chaque hiver, des peuplements du même type (variantes I.3 ou I.4 en mars-avril). Cette périodicité est identique dans les 10 variantes et faciès.

L'étude des variations saisonnières au sein de cette variante montre donc que notre méthode synthétique de classement des peuplements est valable et précise : en effet, elle peut mettre en évidence de faibles différences dans la composition des peuplements de deux stations, différences qui sont explicables par des écarts faibles mais constants entre les valeurs de certains paramètres physico-chimiques ou climatiques, ce qui illustre bien la précision de la réponse des diatomées aux modifications des facteurs du milieu.

<u>Variante I.5 (E EXIG dt, A AUST H cdt, E RHOM, P HILS)</u> (figures 67-68)

Dans ce deuxième type intermédiaire, les variations saisonnières sont plus ou moins importantes suivant les stations.

Aux stations 140 et 143 (eaux encore assez acides), A AUST H, taxon caractéristique de cette variante, n'est jamais abondant.

Les stations 176 et 145 (eaux moins acides), présentent cette variante sous sa forme la plus typique.

Les variations saisonnières sont assez limitées à la station 176 en 1978 : le peuplement est du type I.1 en mars puis du type I.5 prépondérant pendant tout le reste de l'année, mais en rapport avec leur abondance relative plus ou moins élevée, quelques taxons moins importants (FRA VI, P HILS, E RHOM) sont notés dans d'autres variantes (expressions chiffrées : 5/7, 5/6(2)(3)(8),...)

D'octobre à décembre, il y a une augmentation manifeste du nombre de taxons : ce sont surtout des neutrophiles qui s'ajoutent (GO PARV, NA CRY, A LANC, A MINU, FRA CAP).

A la station 145, de type chimique moins acide, on observe peu de variations : le type I.5 reste prépondérant et des taxons neutrophiles (A MINU, GO PARV, FRA CAP, A LANC) se développent peu en octobre 1977 et davantage en octobre 1976. Si le type prépondérant I.5 reste stable, on observe cependant un changement de physionomie du peuplement suivant que A AUST H est dominant au printemps ou codominant (parfois peu développé) avec E EXIG dominant en été et en automne.

Variante II.6 (E EXIG dt, A MINU cdt, A AUST H, SU ROBA, GO PARV, FRA CAP, A LANC, NA MINI, NI ARCH) (figures 69 à 71)

Dans cette variante, on trouve en permanence, et simultanément, des taxons acidophiles et neutrophiles en proportions variables suivant les saisons

Les changements saisonniers peuvent être spectaculaires comme à la station 59 où on passe du type I.2 avec E EXIG dominant en juin 1976 (pH : 5.2), au type III.9-10 avec A MINU et FRA CAP dominants et sans E EXIG en octobre 1976 (pH : 7.4). Il s'agit cependant d'un assemblage III.9-10 atypique, très pauvre, avec seulement A MINU et FRA CAP et aucun des autres taxons caractéristiques.

Pour la station 63, les modifications sont plus progressives : variante de type II.6 prépondérant en mars, de type II.8 prépondérant en juin et de type III.9-10, en octobre 1976. Ici aussi, les acidophiles (E EXIG, E RHOM, A AUST H, SU ROBA, E PECT M) disparaissent complètement en été et en automne. En 1977, les changements saisonniers sont plus limités et irréguliers avec recrudescence de l'acidophile E EXIG, quand on prélève après de fortes pluies en mai et surtout en août. C'est encore en octobre que A MINU atteint son abondance maximale. En 1978, on assiste à un glissement du peuplement du type II.6 prépondérant en avril et juillet, au type III.9 prépondérant en septembre et III.10 prépondérant en novembre, ces deux prélèvements restant malgré tout assez riches en E EXIG (environ 20 % d'abondance relative). On note aussi l'importance croissante de taxons indicateurs d'eutrophisation (A LANC, NA MINI, NI ARCH) entre 1976 et 1978, signe d'une altération de plus en plus forte au niveau de cette station.

Les variations sont plus limitées et irrégulières à la station 130 qui oscille entre les variantes II.6 et II.7 et à la station 170 où l'on note la présence constante de NI ARCH, indicateur d'eutrophisation.

Variante II.7 (E EXIG dt, FRA CAP cdt, A MINU cdt, SU ROBA, TAB FLO, A SAXO, FRA VI, E PECT M, GO PARV) (figures 72 à 77)

Cette variante se distingue de la précédente par l'abondance de FRA CAP, l'absence de taxons indicateurs d'eutrophisation, et la présence de différents taxons acidophiles toujours présents en quantité modérée et dont les variations saisonnières sont faibles (SU ROBA, A SAXO, FRA VI, E PECT M). Elle correspond à des eaux beaucoup moins minéralisées. Les sources se trouvent encore dans des terrains plus ou moins tourbeux qui expliquent l'acidité de l'eau en hiver et au printemps. En été et en automne, en raison de la diminution du débit, les roches en place (Salmien, Siegenien, Revinien 3) ont un effet plus marqué et le pH et l'alcalinité augmentent.

On trouve, ici aussi, des changements saisonniers spectaculaires même dans des rivières qui coulent sur un seul substrat (Salmien pour la station 31, Siegenien 1 pour la station 172).

Nous donnons ci-dessous les expressions chiffrées pour les stations 31, 121 et 172 en nous limitant aux deux premiers chiffres (tableau 88).

Station	Année	ms	a	m	j	jt	at	s	o	n	d
31	1976	4/7	-	-	7/6	-	-	-	7/8	-	
	1977	-	4/6	4/7	7/6	7/6	7/4	7/4	7	7/4	-
	1978	4/7	4/7	6/7	6/7	6/9	6/9	5/9	9/7	9/7	9/7
172	1977	-	4/7	-	-	8/7	-	-	8/9	-	-
	1978	4/7	6/7	6/7	8/7	8/7	8/7	8/7	9	9	9
121	1976	-	8/7	-	8/7	-	-	-	9/7	-	-
	1977	-	9/7	7/9	7/9	8/7	8/7	8/9	8/7	9/7	-
	1978	6/7	4/6	7/6	6/7	7	8/7	8/7	8/7	9/7	8/9

Tableau 88.- Variations saisonnières des peuplements aux stations 31, 172 et 121.

L'évolution des peuplements à dominance d'acidophiles vers les peuplements à dominance de neutrophiles est très nette et progressive, et se répète chaque année.

D'autre part, la proportion plus importante de taxons neutrophiles se maintient jusqu'en décembre alors que le pH et l'alcalinité diminuent à partir de novembre jusqu'à atteindre des valeurs de l'ordre de celles qu'on mesure en mars-avril de l'année suivante. Nous pensons qu'en raison de la baisse de la température, le peuplement observé au mois d'octobre n'évolue pratiquement plus en hiver. Hélas, l'enneigement hivernal nous a empêché de réaliser en janvier et février des prélèvements qui nous auraient permis de vérifier cette hypothèse et de voir à partir de quel moment le peuplement est à nouveau dominé par des acidophiles.

Les eaux de la station 31 sont toujours plus acides que celles des stations 172 et surtout 121 et celles de la station 172, plus acides au printemps que celles de la 121. Ces différences se manifestent au niveau des peuplements, par un développement plus précoce des taxons neutrophiles : en mai-juin à la station 31, en avril-mai à la 172 et dès le mois de mars à la 121. Parallèlement, l'amplitude des variations saisonnières diminue : du type I.4 au type III.9 prépondérants aux stations 31 et 172, du type II.6 au type III.9 prépondérants à la 121.

La physionomie de ces peuplements change en trois étapes marquées par le développement séquentiel de E EXIG au printemps, FRA CAP en été, et A MINU en automne.

La station 167, dont les eaux sont plus acides et encore en contact avec le Revinien 2, montre la même évolution avec un décalage : E EXIG encore dominant en été, avec FRA CAP codominant; FRA CAP dominant, et A MINU codominant en automne. En l'absence d'un prélèvement au printemps, on ne peut que considérer comme probable la dominance des taxons acidophiles à ce moment, en relation avec la situation des sources sur le Revinien 2.

La station 119 montre des variations plus faibles entre les types II.6 et II.7. La composition de l'eau montre une certaine stabilité que nous expliquons par le passage d'une roche riche (Salmien) à une roche pauvre (Revinien 2) : dans ce cas, les variations de débit semblent avoir une répercussion plus discrète sur la composition de l'eau moins acide depuis la source et pendant toute l'année. En dehors de la Roba (station 119) et de la petite Roer (station 40), toutes les autres rivières étudiées prennent au contraire leur source sur des assises pauvres et coulent ensuite sur des assises de plus en plus riches : on assiste alors, à une acidification des eaux des stations aval pendant les crues et en période hivernale.

Dans le peuplement de la station 119, SU ROBA, taxon acidophile, a une importance toute particulière au printemps et en été, et son abondance relative varie à l'opposé de celle d'A MINU.

Variante II.8 (A MINU et FRA CAP dt, GO PARV, E EXIG, HANN A, TAB FLO, A SAXO, E PECT M, DIA HI M, CY MIN, FRA VA, SY ULN, (+A MARG aux stations 19 et 66)) (figures 77 à 80)

C'est une variante à dominance de neutrophiles, où FRA CAP atteint son optimum mais dans lequel on trouve encore régulièrement les acidophiles qui caractérisent la variante précédente(SU ROBA, TAB FLO, A SAXO, FRA VI, E PECT M, E EXIG).

Les variations saisonnières de la physionomie de ces peuplements sont peu marquées et se résument aux variations de la proportion entre A MINU et FRA CAP. Conformément à nos conclusions concernant les variations saisonnières de FRA CAP en fonction de la minéralisation et de la température (chapitre 5.3.6.2.1.), on constate que le passage du type III.9 (A MINU dt, FRA CAP cdt) au type II.8 (A MINU et FRA CAP dt) ne constitue pas un retour vers des conditions plus acides mais indique que la température et la minéralisation ont atteint un seuil favorable à FRA CAP.

D'autre part, sauf à la station 66 en octobre 1976, on n'observe jamais la variante III.9 typique avec CY MIN, DIA HI M, FRA VA, NA CRY, NI ARCH, FRA RUM bien développé. Puisque seule la dominance plus marquée de A MINU sur FRA CAP dans certains prélèvements détermine le passage au type III.9, c'est donc une variante III.9 pauvre en taxons que l'on peut trouver momentanément, par exemple aux stations 20 et 47 en juin 1976 et 47 de mai à juillet 1978.

La station 66 constitue un cas particulier où FRA CAP est remplacé par E EXIG en avril 1977, alors que le pH est plus acide (6.4).

Variante III.9 (A MINU dt, FRA CAP cdt, GO PARV cdt, CY MIN cdt, FRA VA cdt, DIA HI M, NA CRY, HANN A, FRA RUM, A LANC, NI ARCH, E EXIG, SY ULN, A MARG (différentiels de station : GO OLIV, GO CLEV, DIA TE E)) (figures 80 à 85)

C'est la variante la plus riche en neutrophiles.

Il faut distinguer :

- les stations 68, 44 et 42 (et dans une moindre mesure la 122) qui reçoivent au printemps de l'eau légèrement acide (zones de sources plus ou moins tourbeuses), encore favorable au développement toutefois fugace de taxons acidophiles (E EXIG, TAB FLO, E PECT M) et sont alors rattachées de façon prépondérante aux variantes I.4 ou 5 et II.7;
- les autres stations où les taxons acidophiles sont rares et jamais abondants : dans ce cas, le peuplement correspond à la variante typique, avec la dominance nette de A MINU et des variations saisonnières réduites.

Conclusions

Pour l'étude des variations saisonnières des peuplements, nous avons mis au point une représentation standardisée, basée sur le tableau typologique moyen (tableau 71) et qui conduit à l'élaboration d'une expression chiffrée synthétique dont nous avons précisé la signification écologique.

Les résultats obtenus illustrent l'intérêt et la précision de cette méthode.

1. Les prélèvements mensuels montrent que, pratiquement dans chaque station, on trouve typiquement, pendant une partie plus ou moins longue de l'année, la variante ou le faciès déterminé dans le tableau typologique moyen et que l'on s'en écarte plus ou moins pendant le reste de l'année, en relation avec des variations climatiques (température, pluviosité) et physico-chimiques. D'une façon générale, parallèlement à l'augmentation progressive du pH et de l'alcalinité de l'eau du printemps à l'automne, on assiste à une diminution progressive des taxons acidophiles et au développement des neutrophiles. Des prélèvements mensuels établissent aussi la précision de la réponse des diatomées à des modifications faibles des facteurs du milieu : en effet, des différences dans l'évolution saisonnière ont été observées pour une même station d'une année à l'autre en relation avec la pluviosité (stations 39 et 43) et d'une station à l'autre en relation avec de faibles écarts dans la composition chimique de l'eau (stations 39, 43, 31, 172 et 121).

2. Les taxons qui varient le plus sont E EXIG, A MINU et FRA CAP, avec accessoirement, d'autres taxons dont l'abondance relative et ses variations sont plus faibles. Dans ces conditions, les modifications physionomiques saisonnières des peuplements correspondent principalement à la dominance dé l'un ou de l'autre de ces 3 taxons qui ont des exigences écologiques bien distinctes :

E EXIG est un acidobionte, mais avec une distribution assez large dans la gamme de pH, FRA CAP est un neutrophile oligotrophe d'amplitude assez étroite vis-à-vis de la minéralisation et du pH et préférant des températures supérieures à 10°C, A MINU est un neutrophile à distribution large, qui peut se développer en eau acide, mais seulement pendant des périodes d'étiage prononcé.

3. Les modifications saisonnières les plus spectaculaires sont observées pour les variantes moyennes I.4, II.6 et II.7, correspondant aux types chimiques intermédiaires acide à légèrement acide : par comparaison avec les associations de SYMOENS (1957), ce type de peuplement peut se rattacher à l'association à *Eunotia exigua* et *Pinnularia subcapitata* au printemps et à l'association à *Diatoma hiemale* et *Meridion circulare* en automne. Cependant, même à ce moment, un certain nombre de taxons acidophiles subsiste et indique qu'il s'agit d'une eau à tendance générale acide.

4. Dans ses grandes lignes, l'évolution va dans le même sens pour les 10 variantes et faciès moyens, mais avec un retard et une amplitude plus ou moins importants du développement des neutrophiles en fonction des valeurs moyennes du pH et de ses variations dans chaque type d'eau. Ainsi, A MINU et FRA CAP sont très rares pendant toute l'année dans les types très acides correspondant aux variantes I.1, I.3 et I.5. Ces taxons ne se développent qu'exceptionnellement en période d'étiage dans les stations des clusters I.2 et I.4. Ils apparaissent de plus en plus précocement dans les eaux de type intermédiaire légèrement acide (variantes II.6 et II.7) et neutre à tendance acide (variante II.8). Ils sont abondants pendant toute l'année dans la variante III.9 (eau neutre).

5. Enfin, les prélèvements mensuels montrent que la proportion plus grande de taxons neutrophiles se maintient jusqu'en décembre alors que le pH et l'alcalinité sont déjà en baisse depuis octobre. En raison de la diminution de la température, le peuplement n'évolue probablement plus en hiver; les acidophiles sont à nouveau abondants en mars-avril, mais nous n'avons pas pu effectuer des prélèvements en janvier et février pour situer exactement leur période de réapparition.

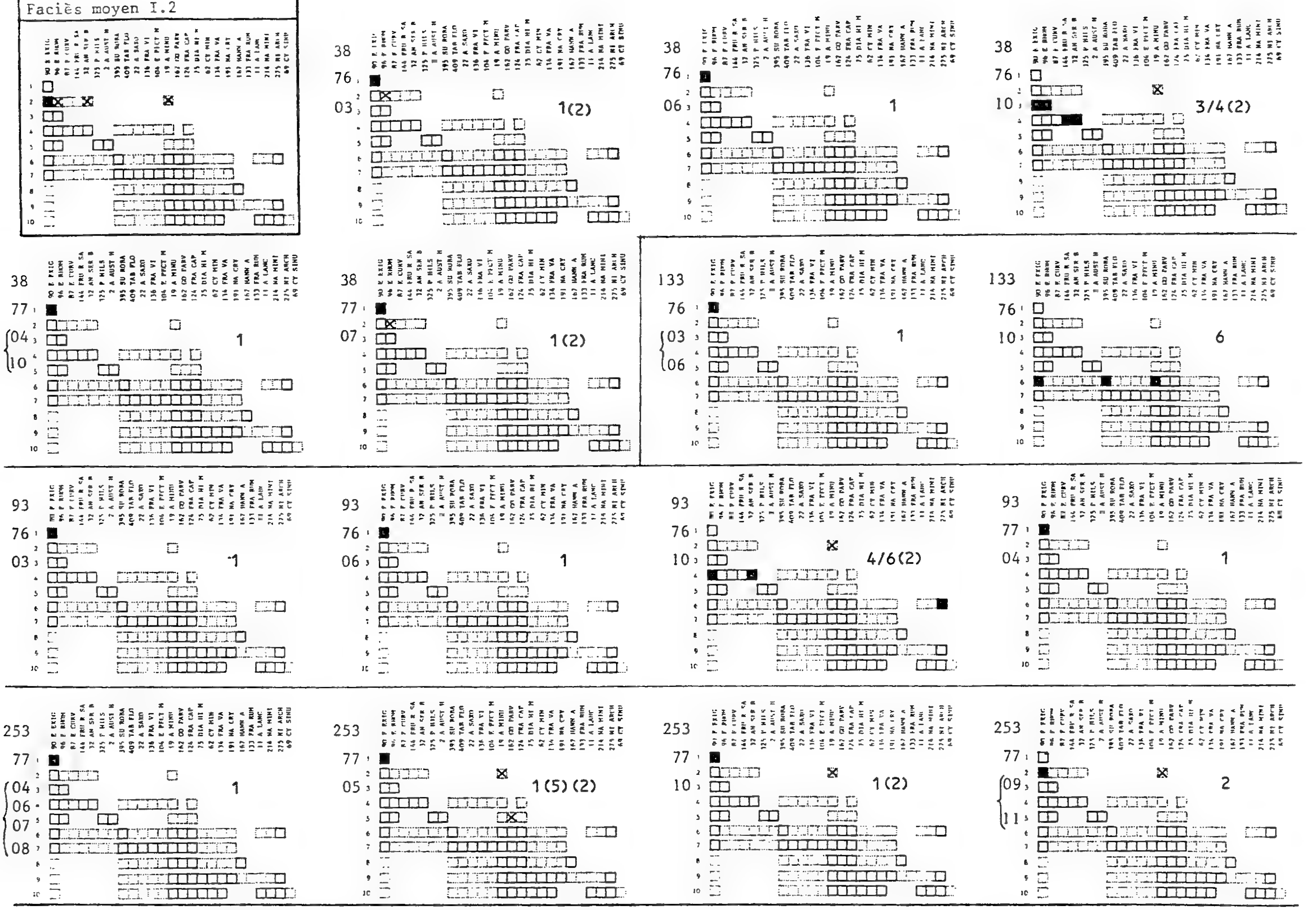


Figure 62.- Variations saisonnières des peuplements pour le faciès I.2. A gauche des grilles: numéro de station, année (76, 77) et numéro de mois (03 à 11).

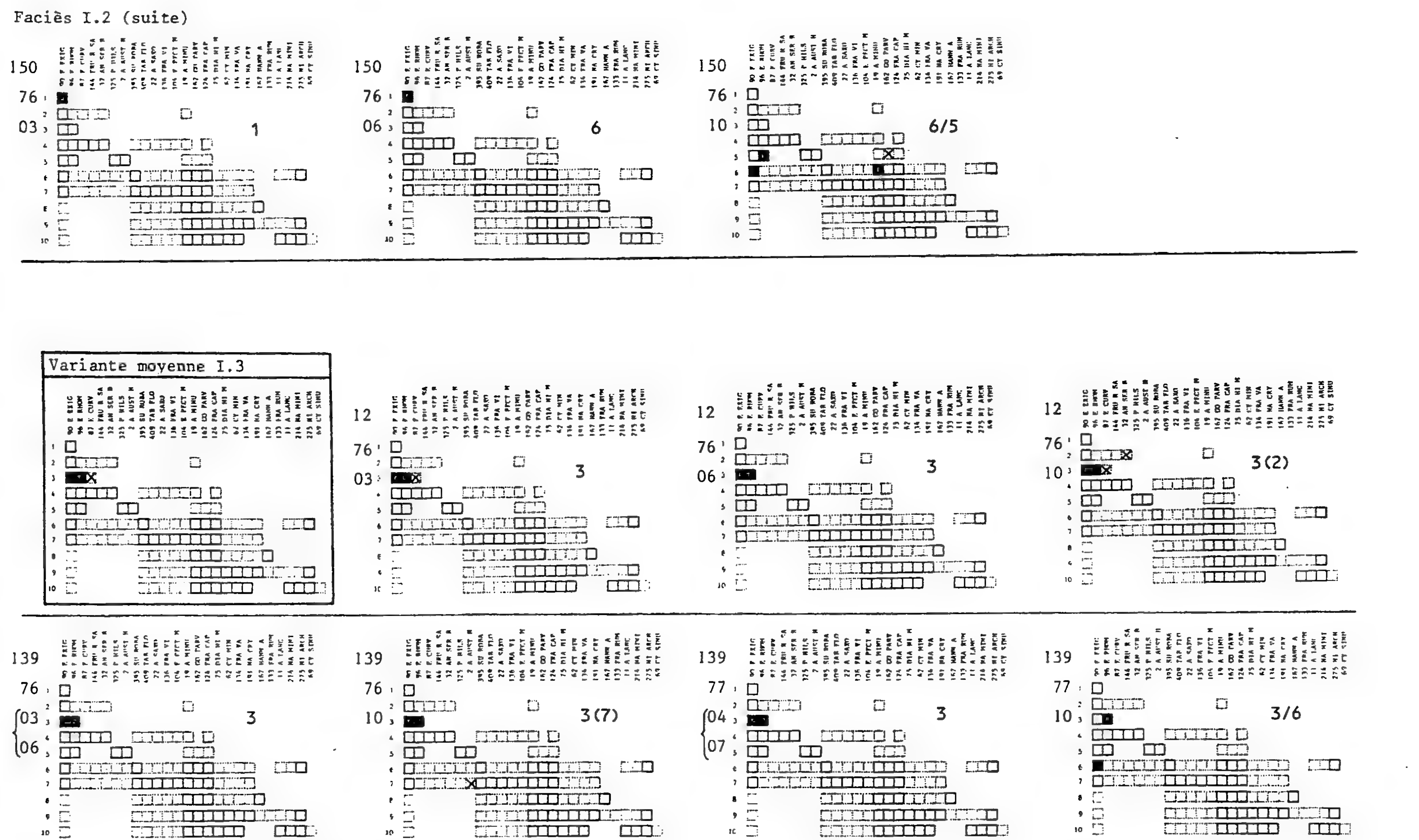


Figure 63.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante I.3. A gauche des grilles: numéro de station, année (76, 77) et numéro de mois (03 à 10).

Variante I.3 (suite)

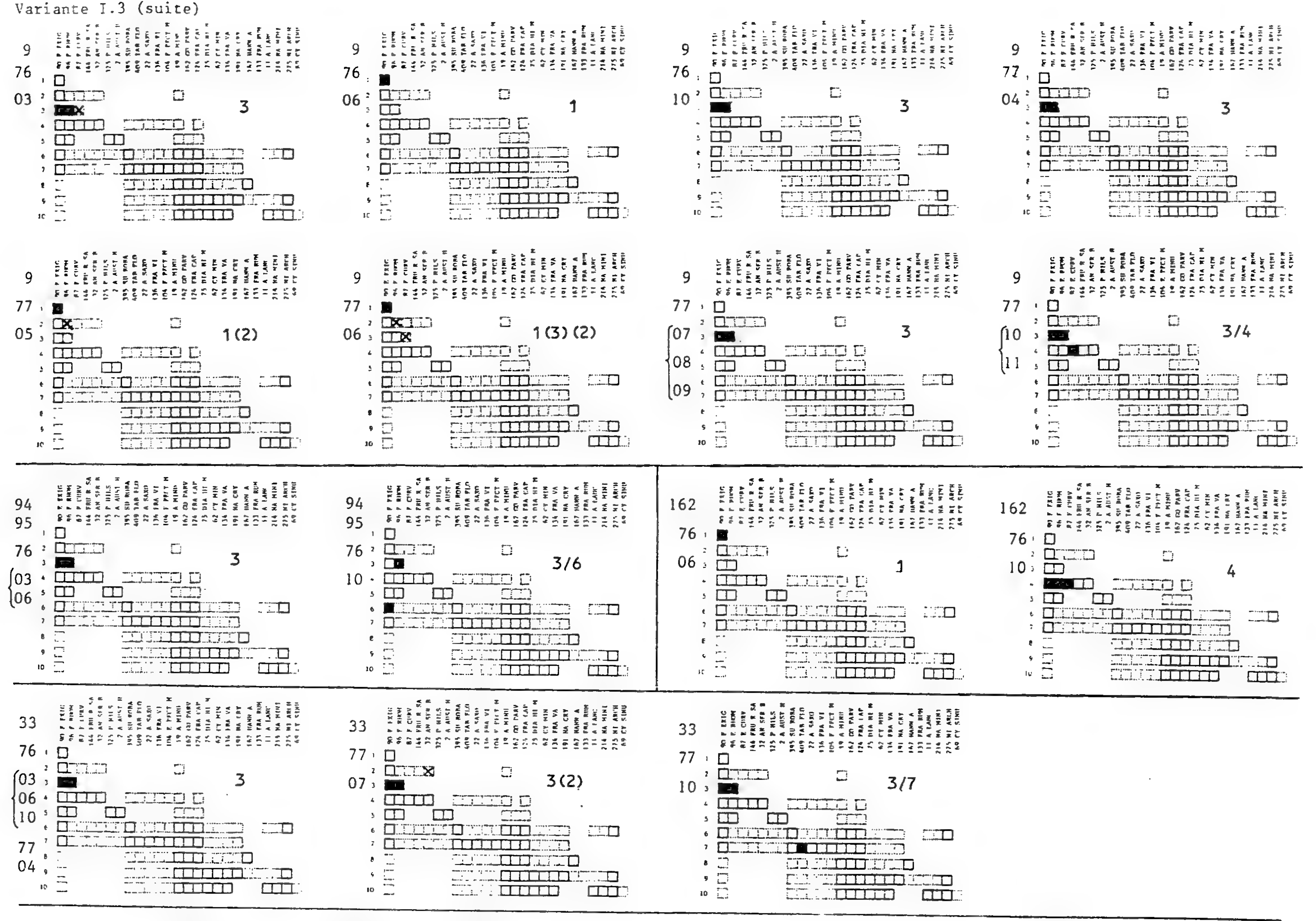


Figure 64.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante I.3 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77) et numéro de mois (03 à 11).

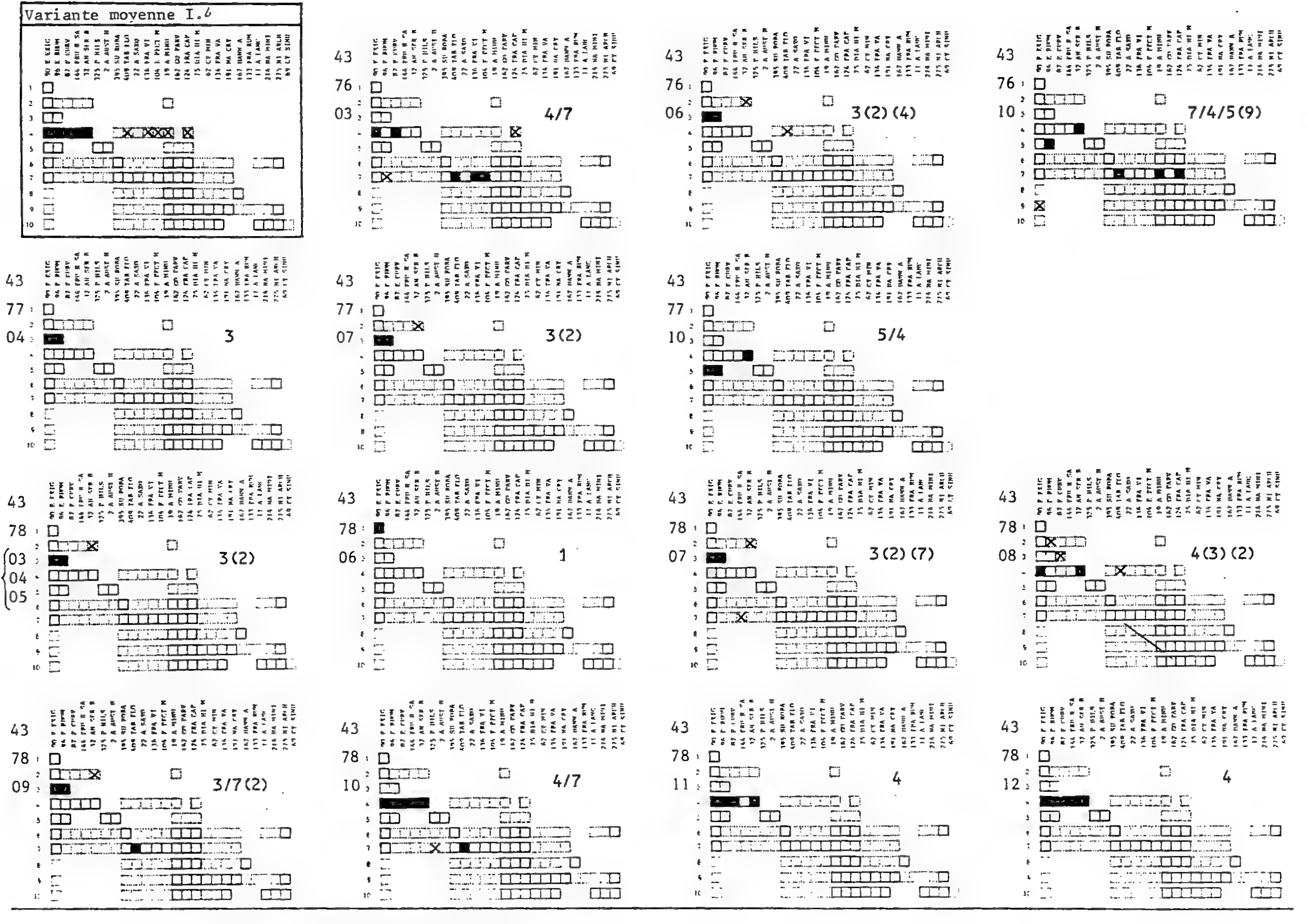


Figure 65.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante I.4. A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77,78) et numéro de mois (03 à 12).

Variante I.4 (suite)

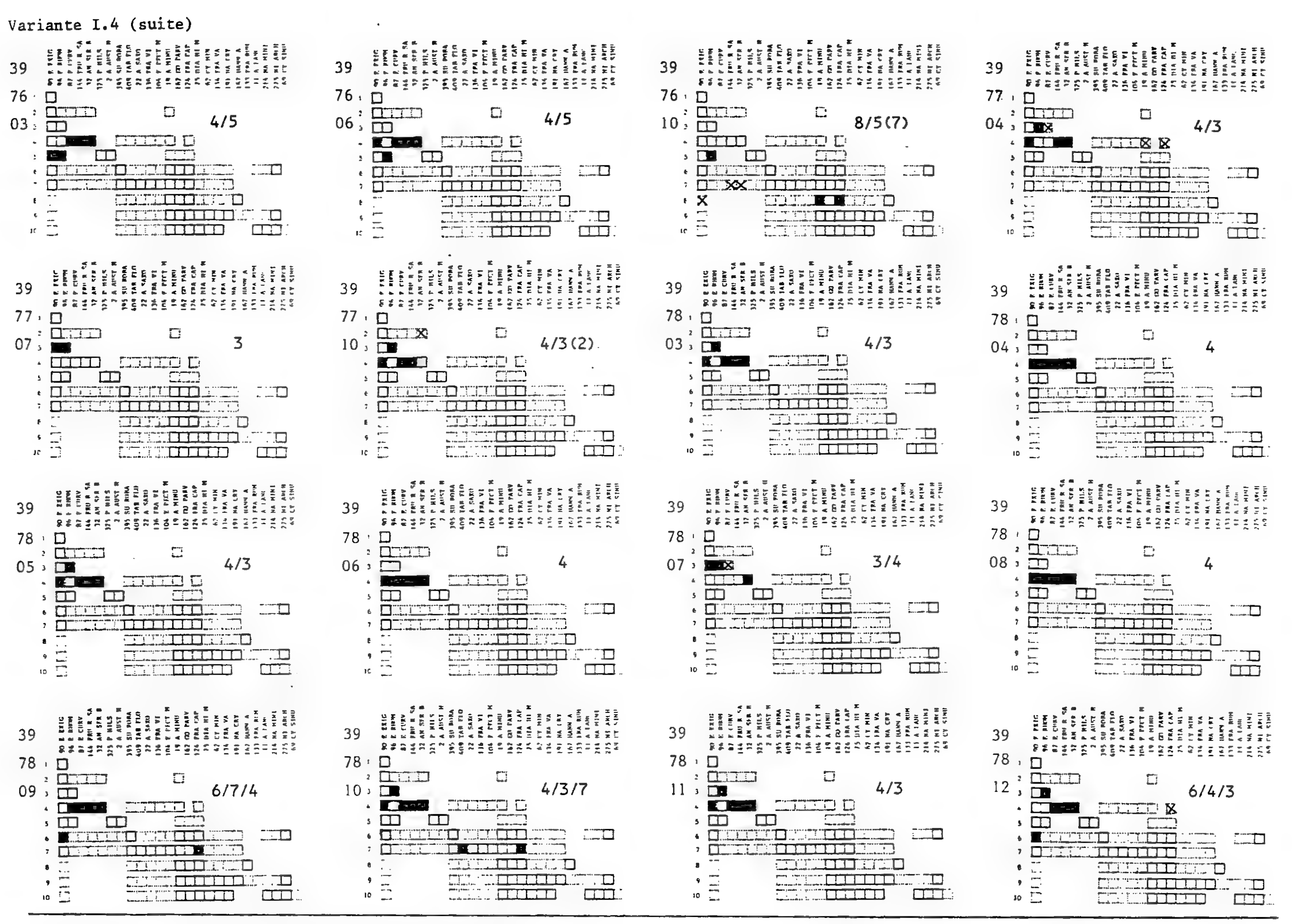


Figure 66.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante I.4 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77,78) et numéro de mois (03 à 12).

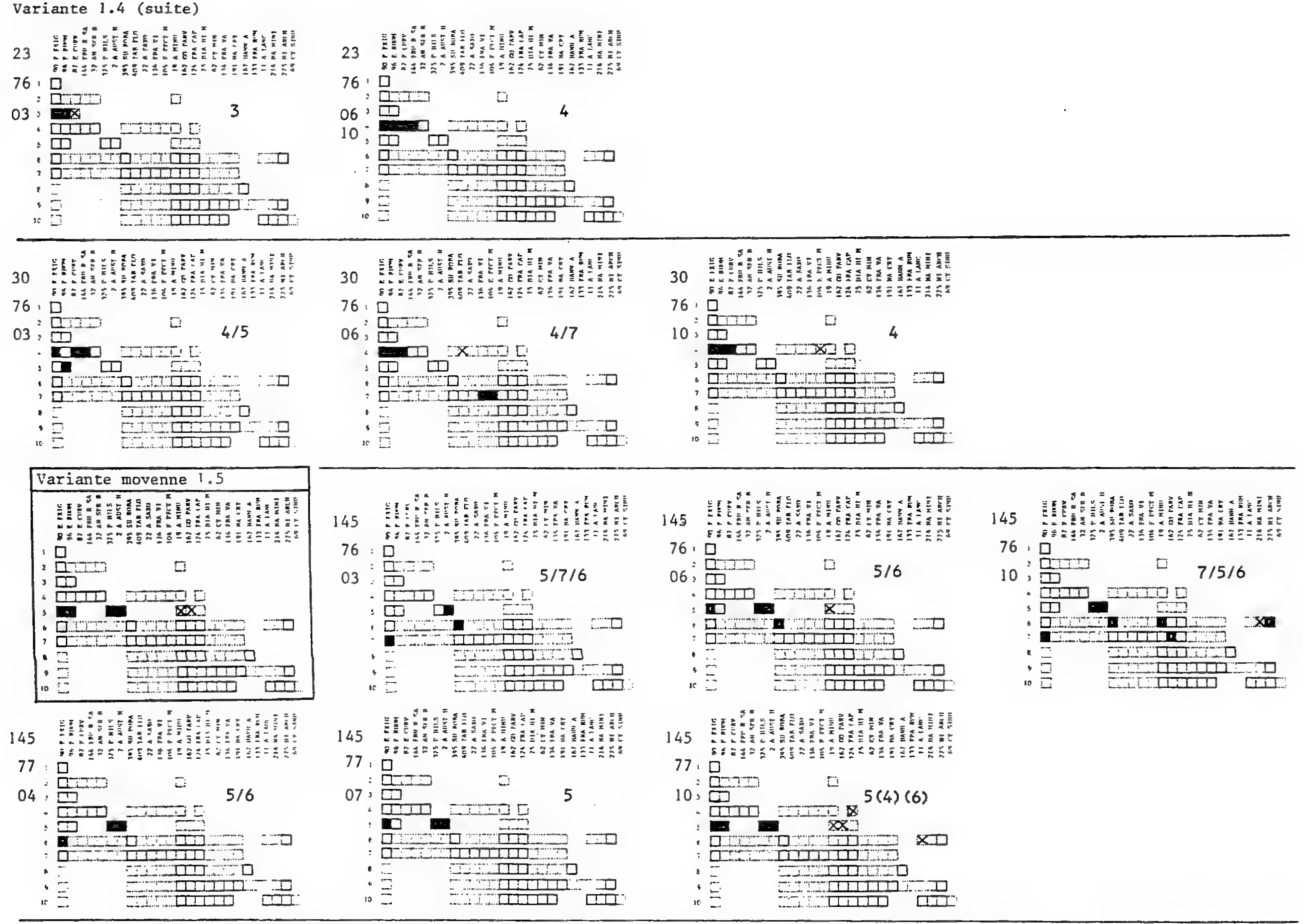


Figure 67.- Variations saisonnières des peuplements pour les variantes I.4 (suite) et I.5. A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77) et numéro de mois (03 à 10).

Variante I.5 (suite)

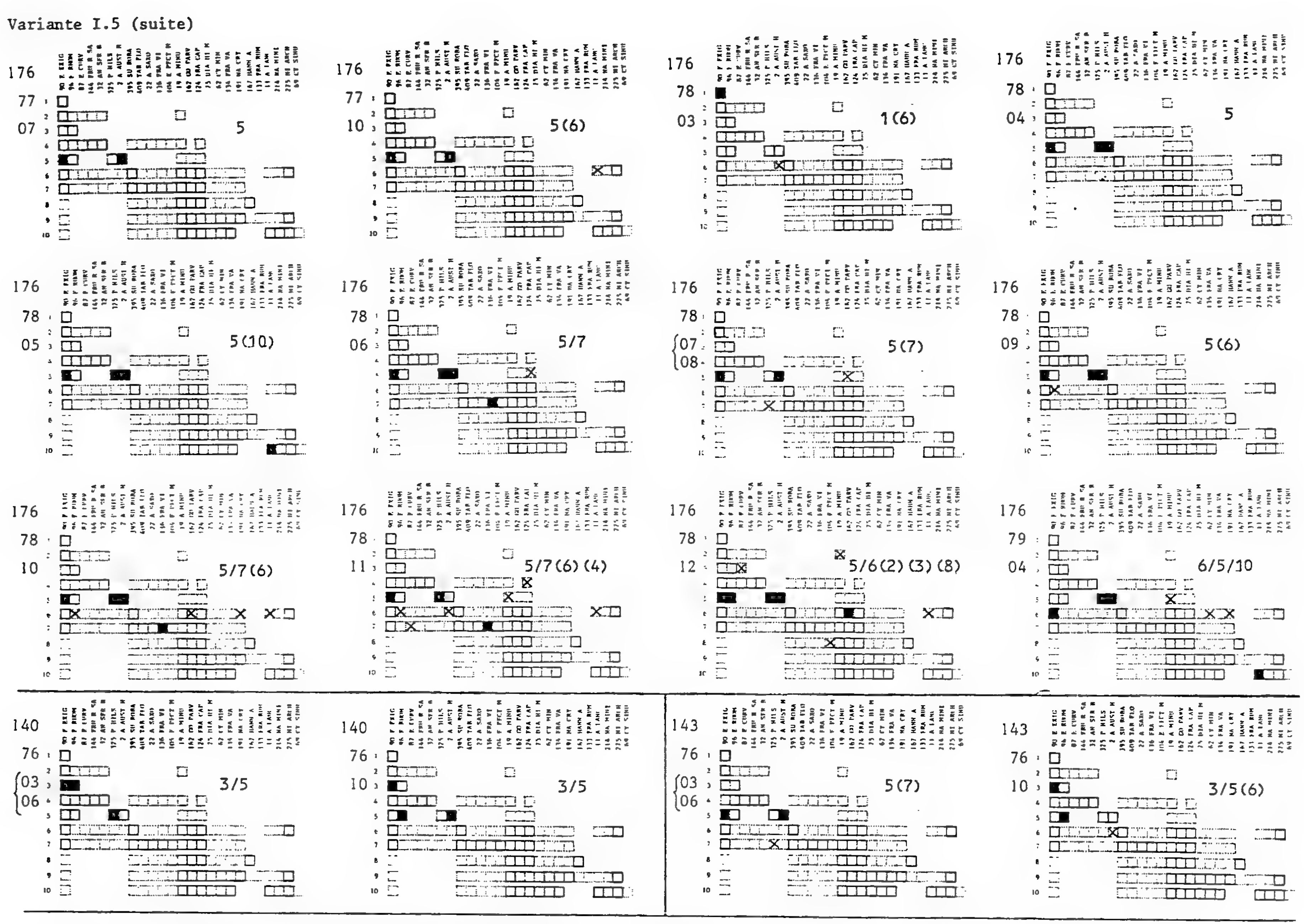


Figure 68.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante I.5 (suite). A gauche des grilles : numéro de station, année (76, 77, 78, 79) et numéro de mois (03 à 12).

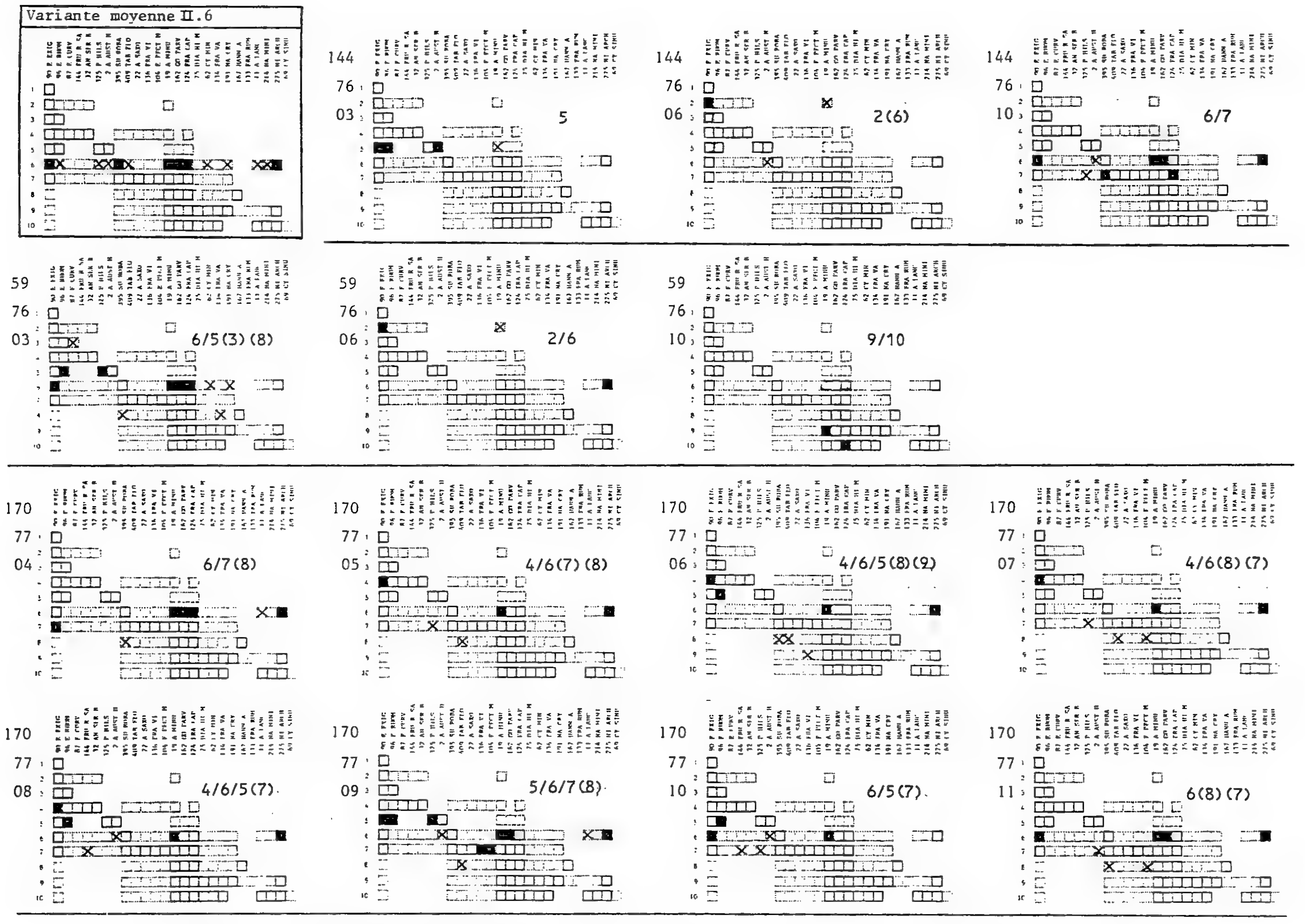


Figure 69.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante II.6. A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77) et numéro de mois (03 à 11).

Variante II.6 (suite)

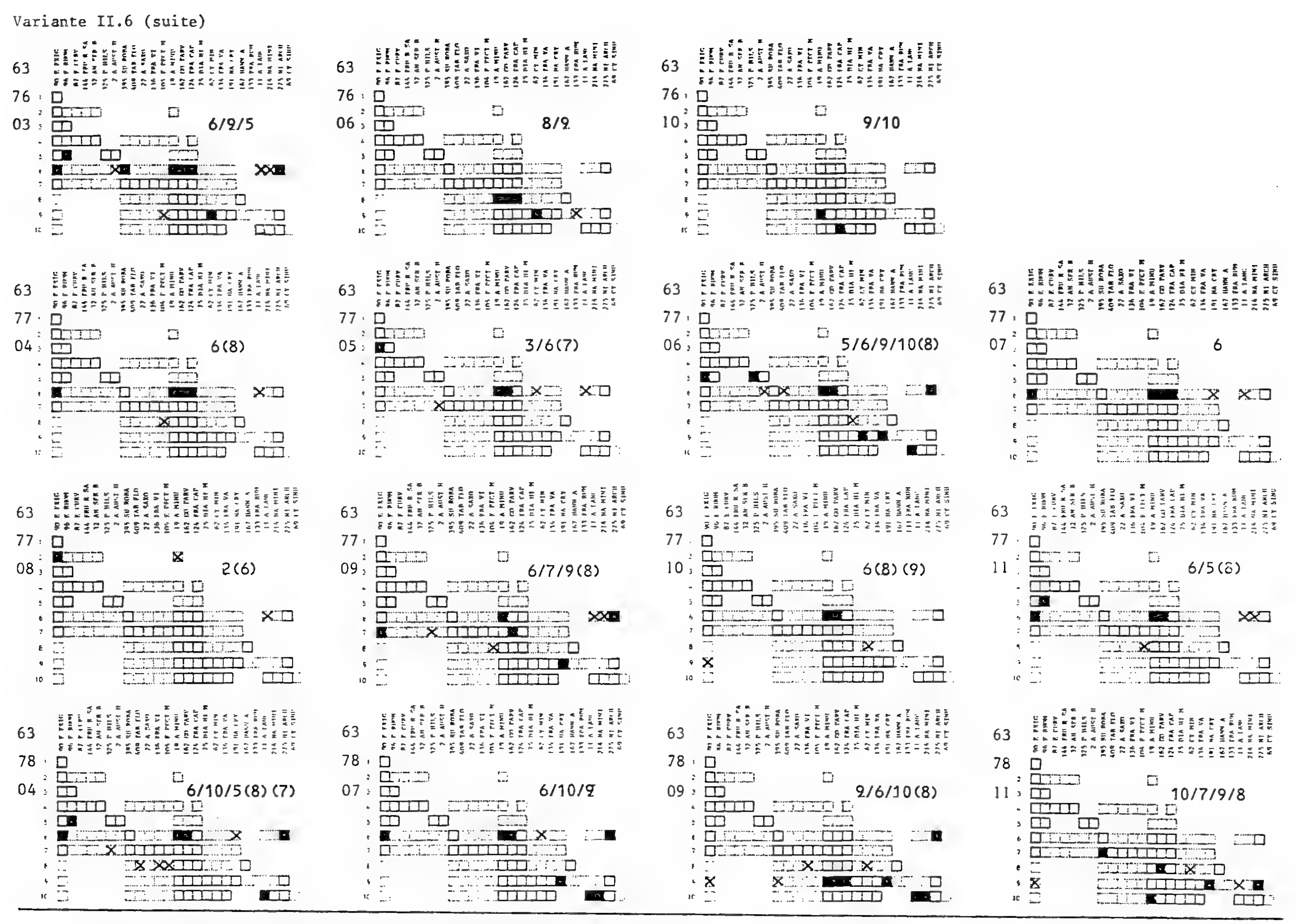


Figure 70.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante II.6 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77,78) et numéro de mois (03 à 11).

Variante II.6 (suite)

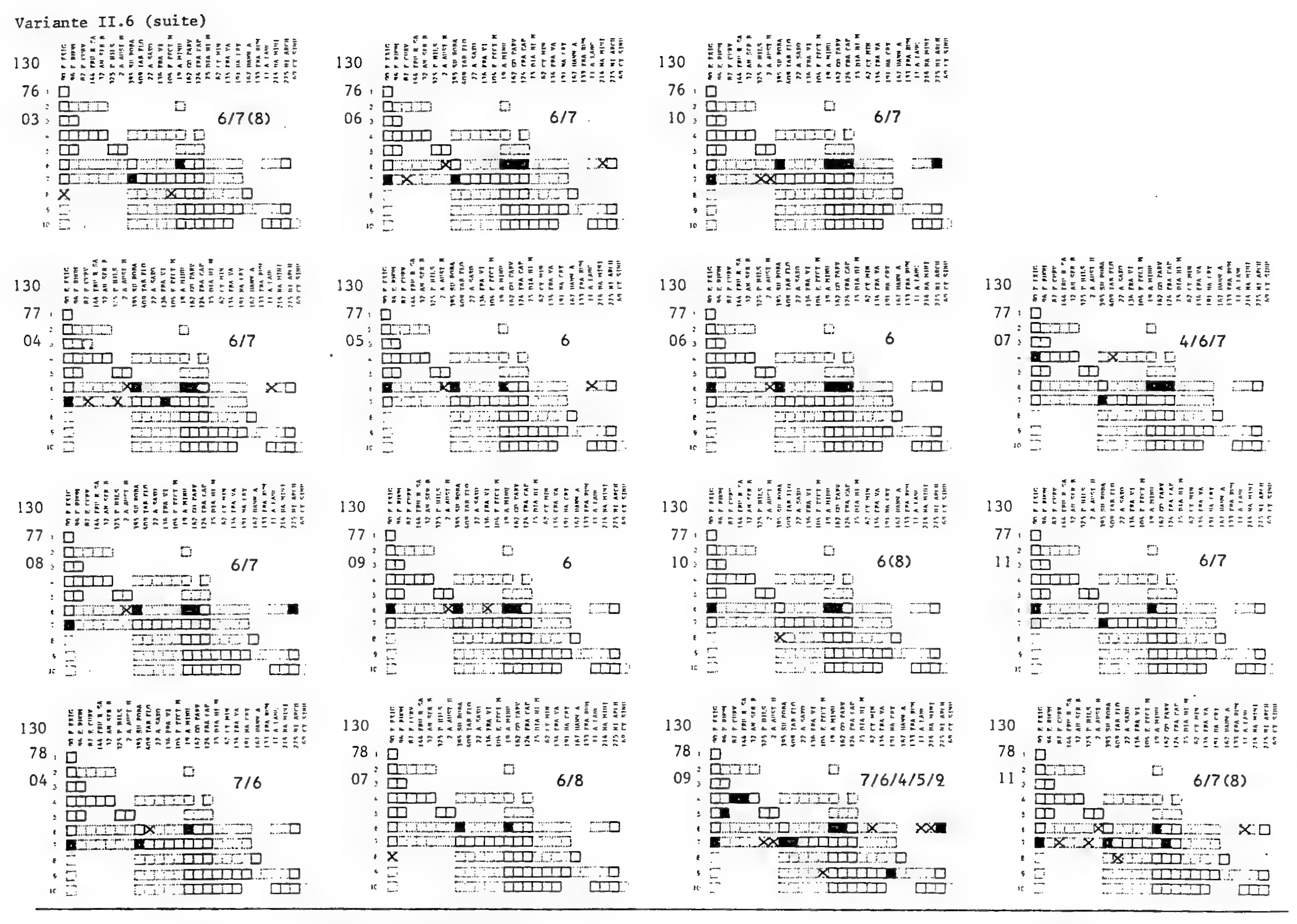


Figure 71.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante II.6 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77,78) et numéro de mois (03 à 11).

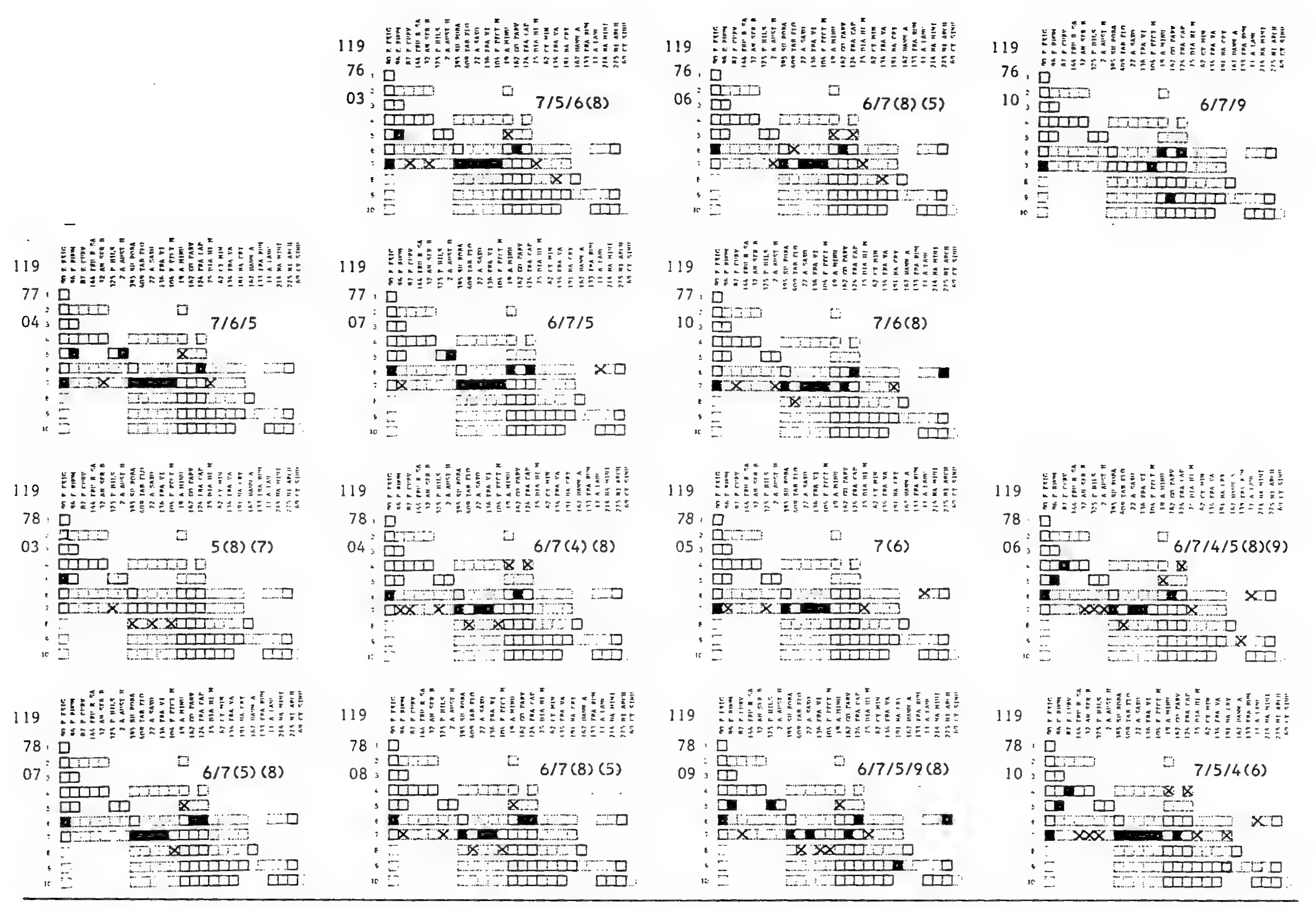


Figure 72.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante II.7. A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77,78) et numéro de mois (03 à 10).

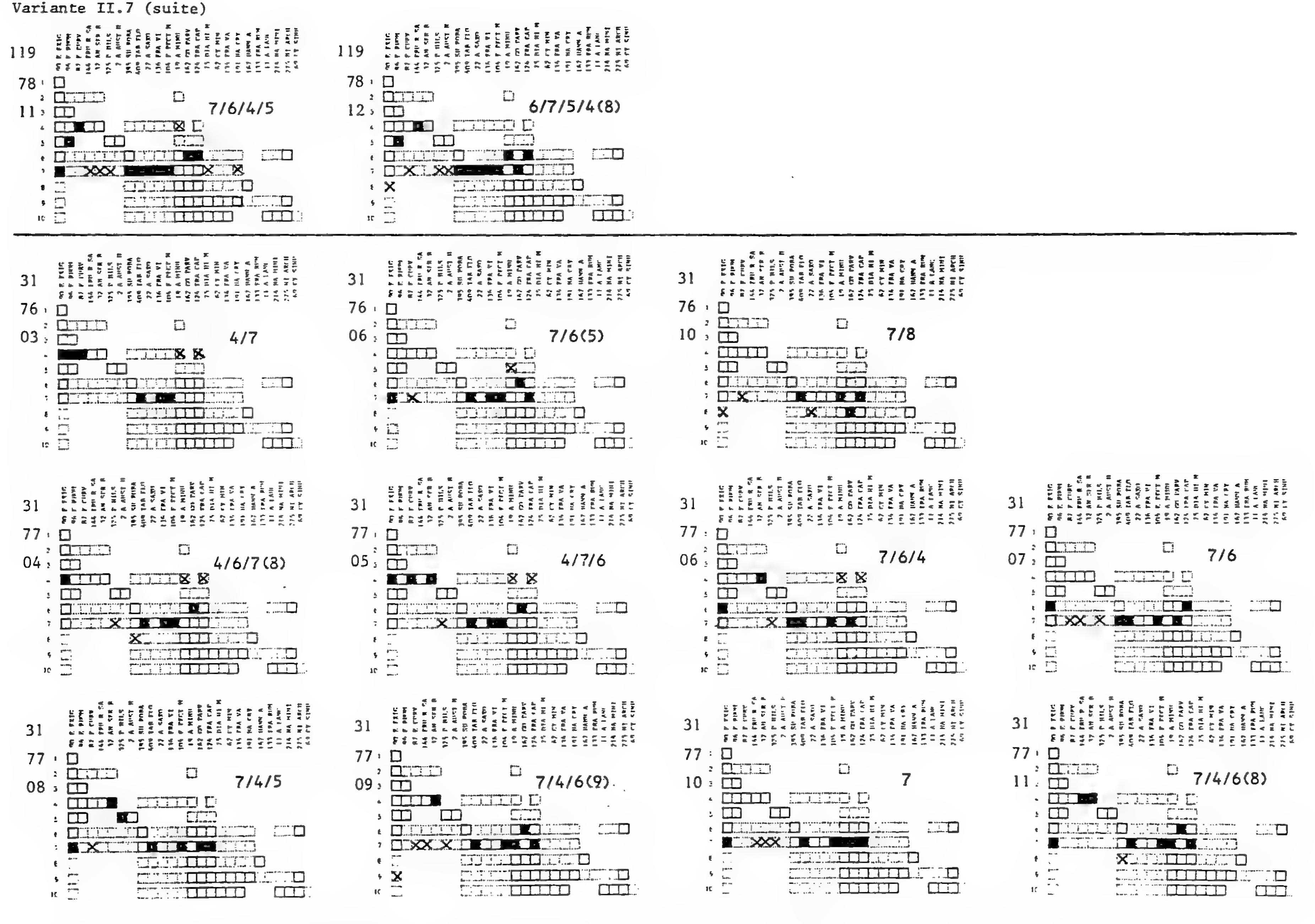


Figure 73.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante II.7 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77,78) et numéro de mois (03 à 12).

Variante II.7 (suite)

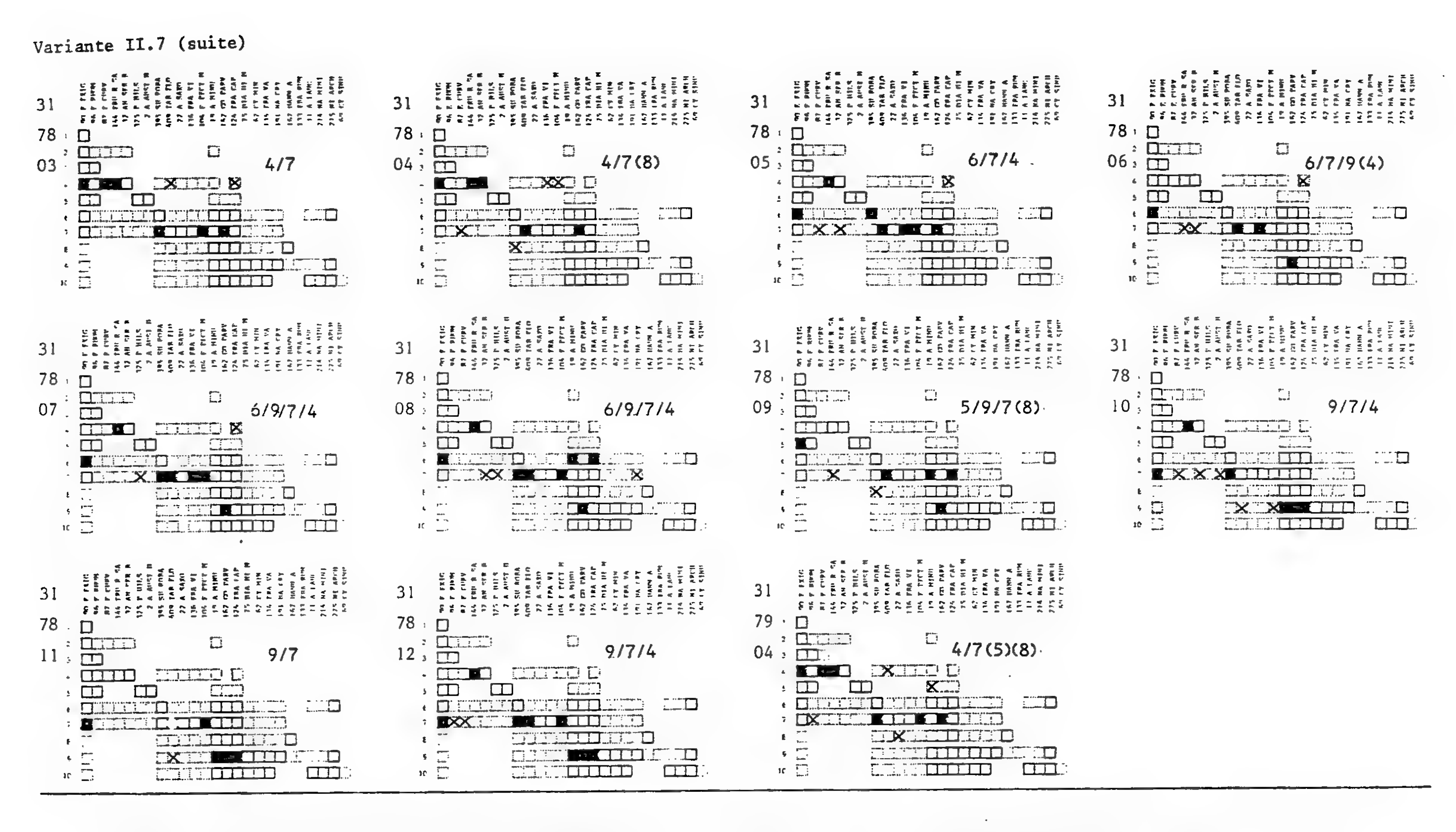


Figure 74.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante II.7 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (78,79) et numéro de mois (03 à 12).

Variante II.7 (suite)

172 77 04 — 4/7/5/6

172 77 07 — 8/7(5)

172 77 10 — 8/9

Variante moyenne II.7

172 78 03 — 4/7/6

172 78 04 — 6/7/5(8)

172 78 05 — 6/7(8)

172 78 06 — 8/7/9(5)

172 78 07 — 8/7/9

172 78 08 — 8/7

172 78 09 — 8/7/9

172 78 10 — 9(8)

172 78 11 — 9(8)

172 78 12 — 9

172 79 04 — 6/7(8)

Figure 75.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante II.7 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (77, 78, 79) et numéro de mois (03 à 12).

Variante II.7 (suite)

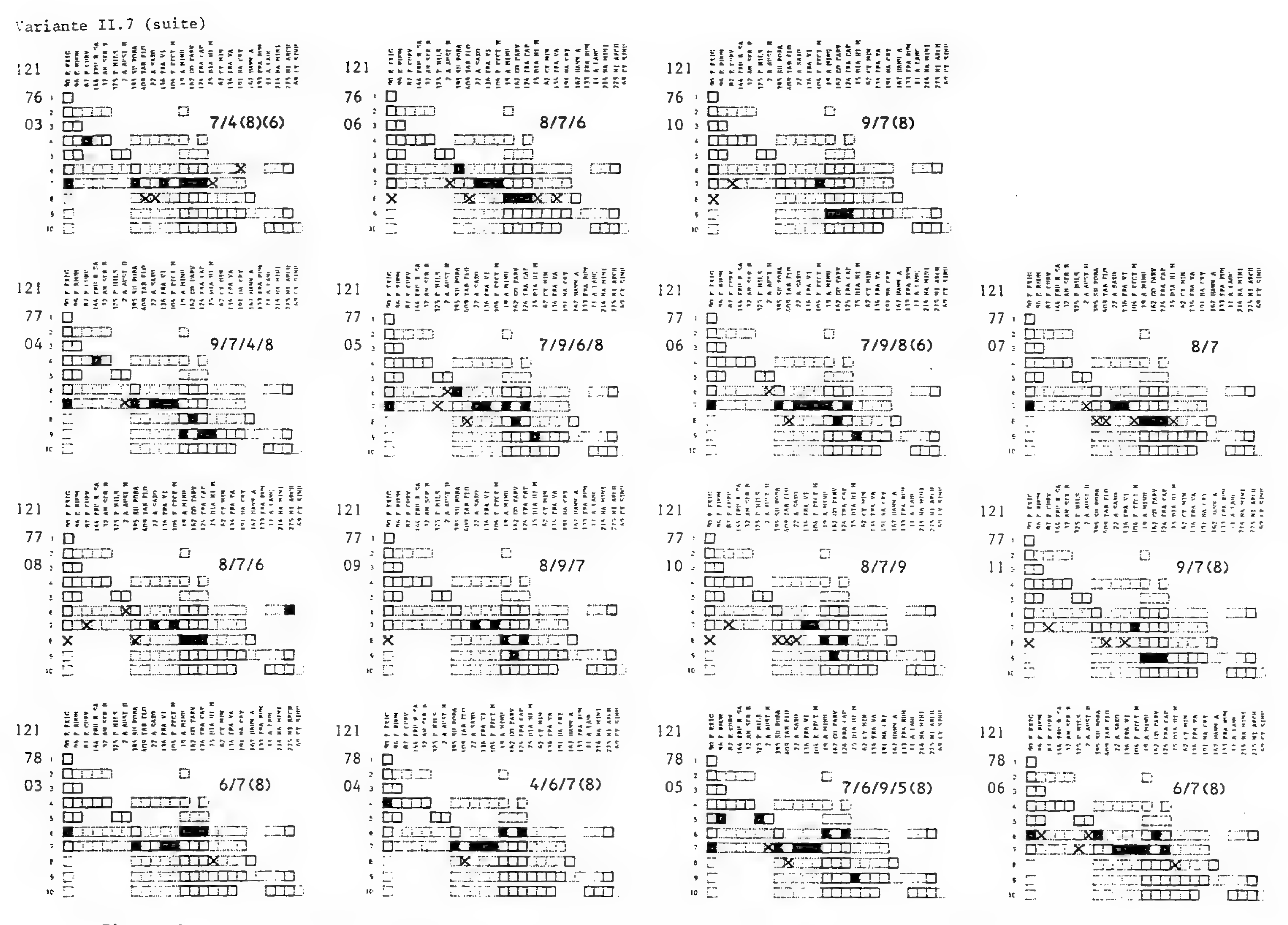


Figure 76.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante II.7 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77,78) et numéro de mois (03 à 11).

Variante II.7 (suite)

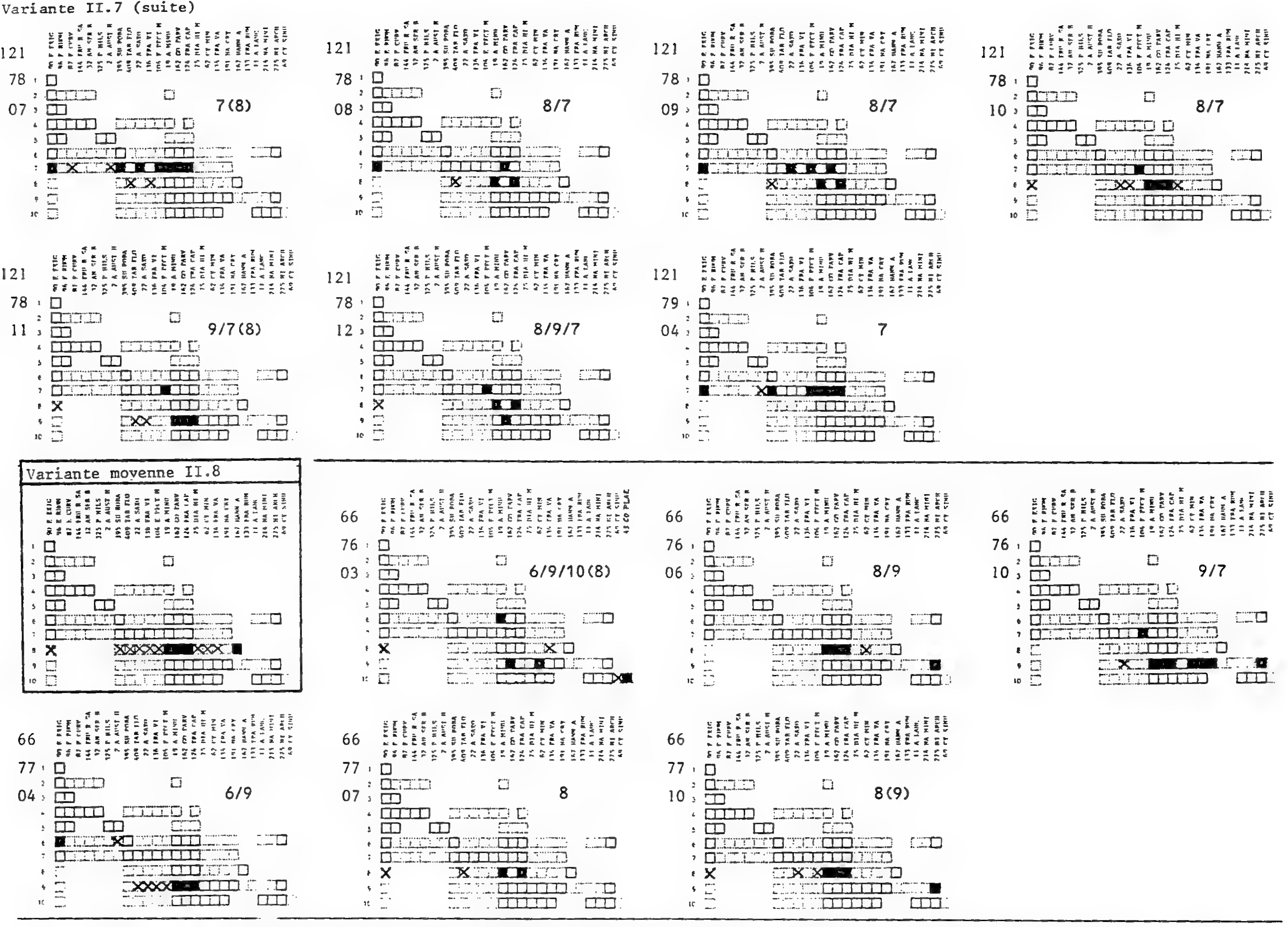


Figure 77.- Variations saisonnières des peuplements pour les variantes II.7 (suite) et II.8. A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77) et numéro de mois (03 à 10).

Variante II.8 (suite)

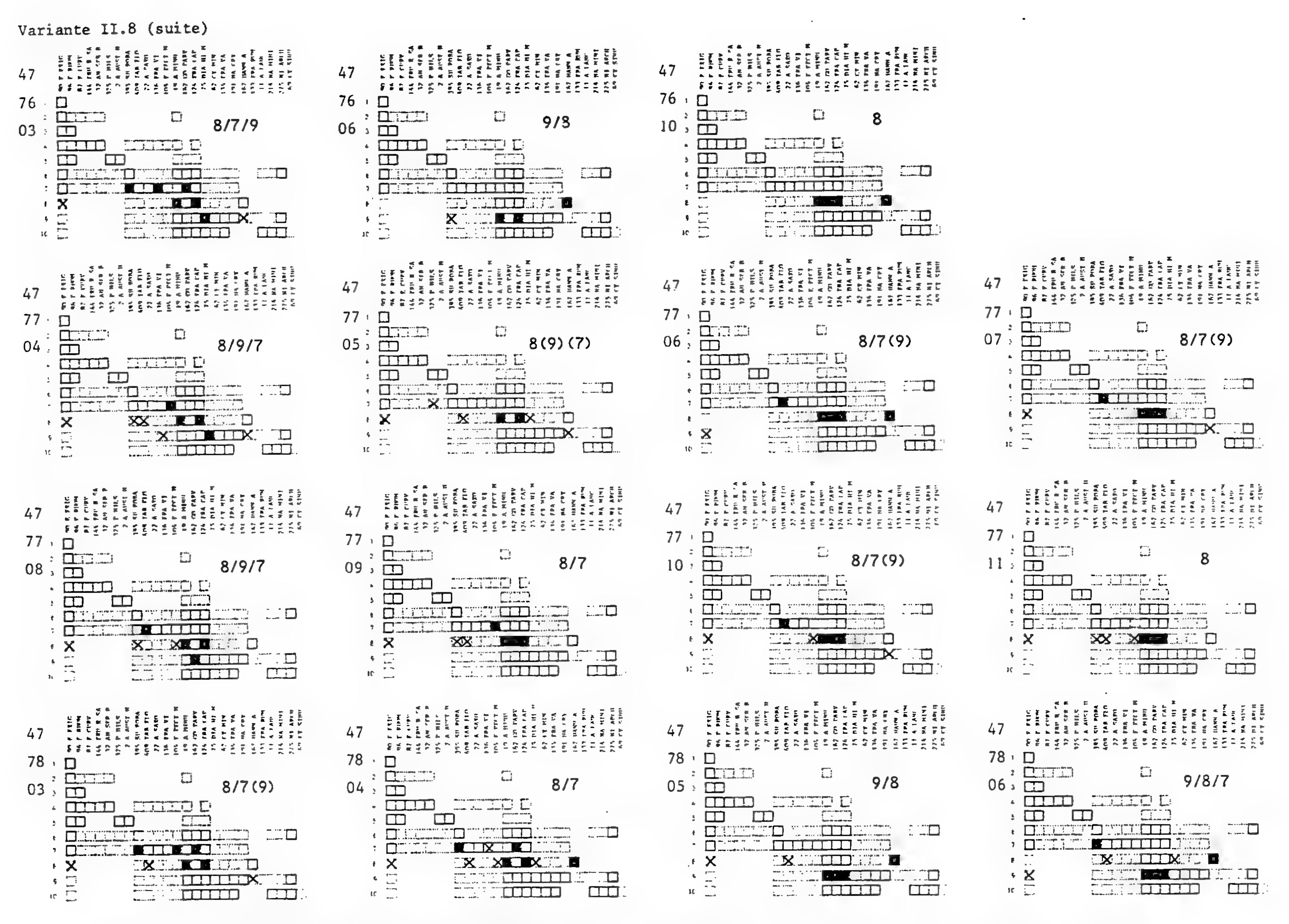


Figure 78.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante II.8 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77,78) et numéro de mois (03 à 11).

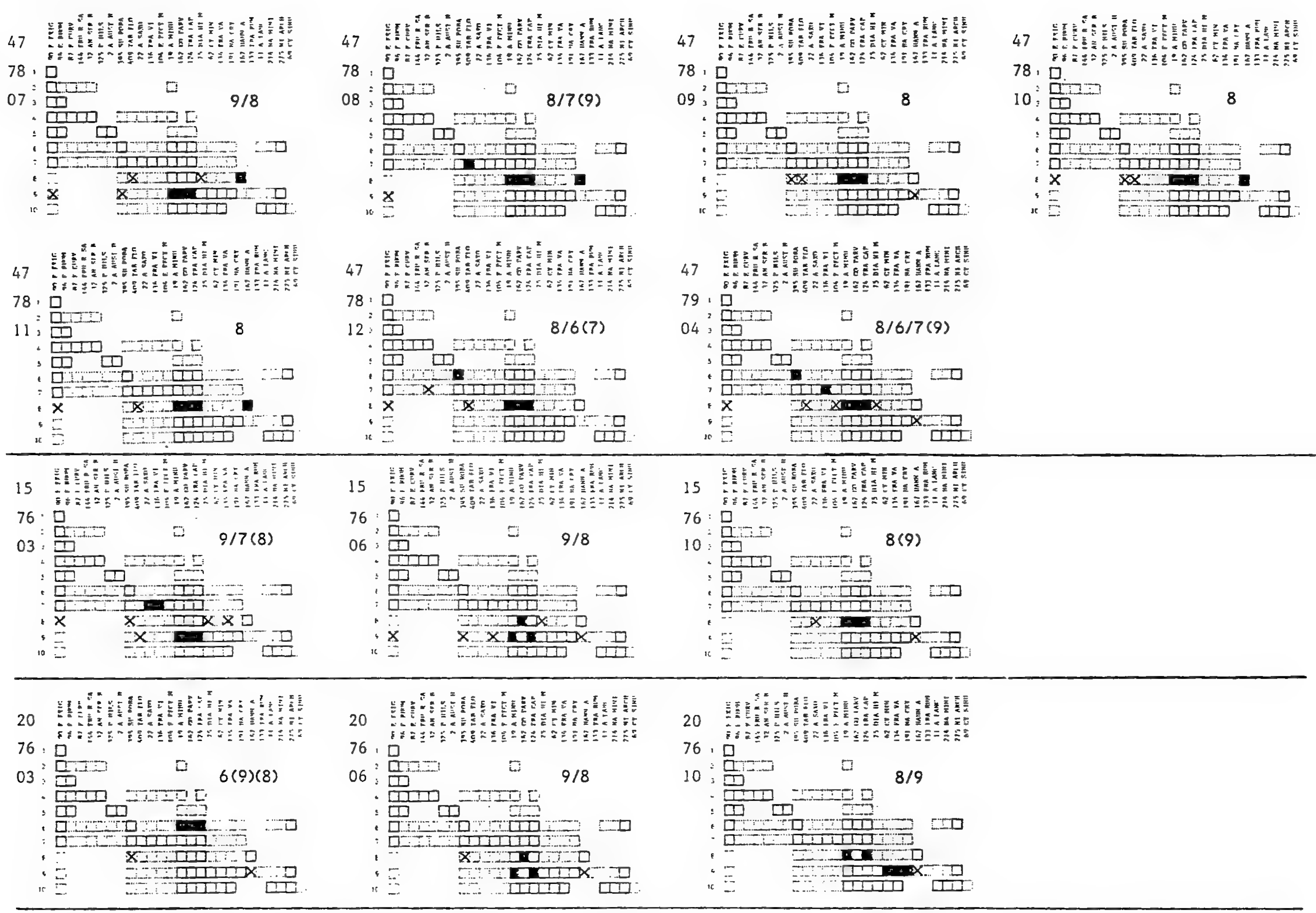


Figure 79.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante II.8 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,78,79) et numéro de mois (03 à 12).

Variante II.8 (suite)

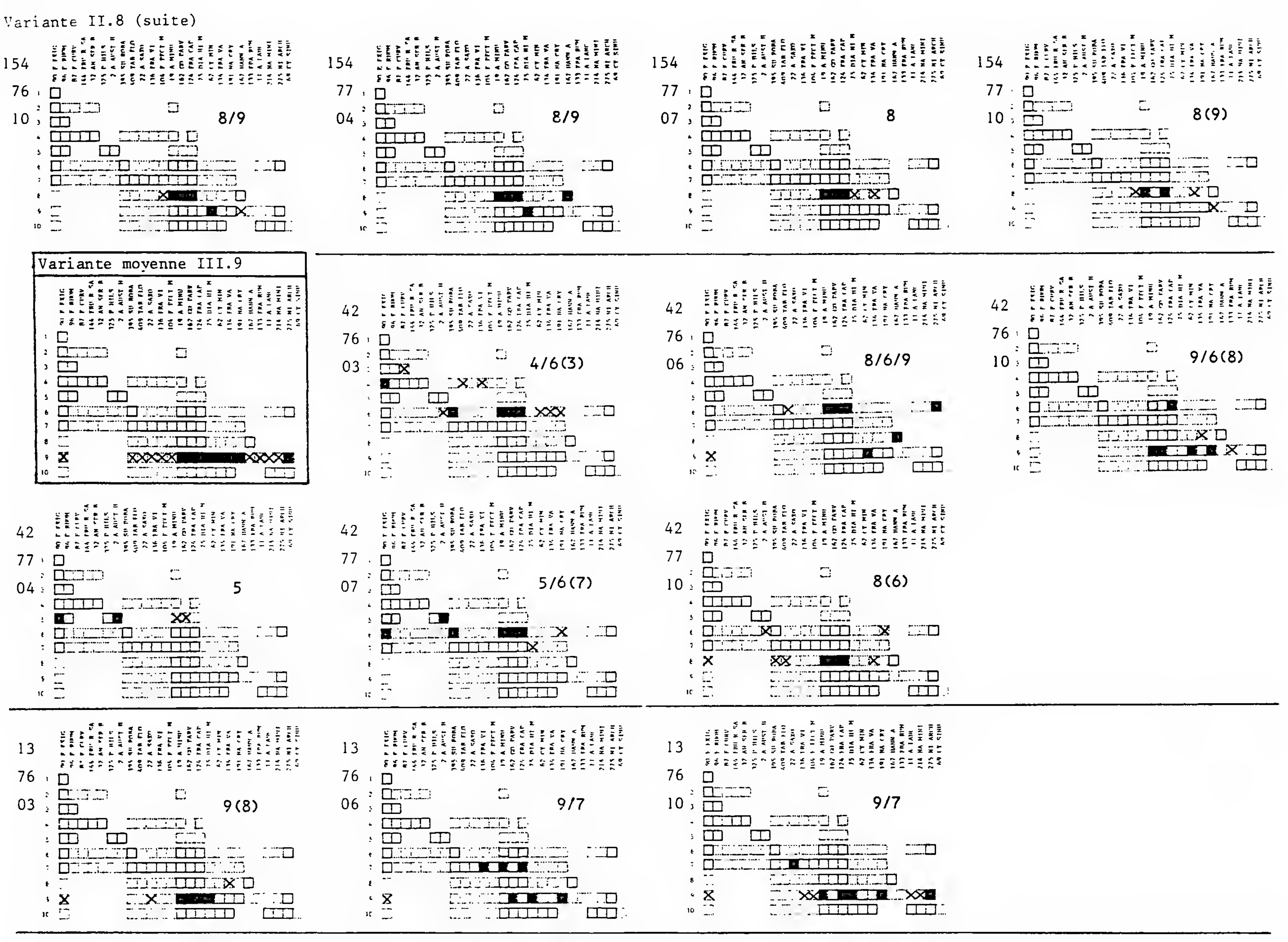


Figure 80.- Variations saisonnières des peuplements pour les variantes II.8 (suite) et III.9. A gauche des grilles : numéro de station, année (76, 77, 78) et numéro de mois (03 à 10).

Variante III.9 (suite)

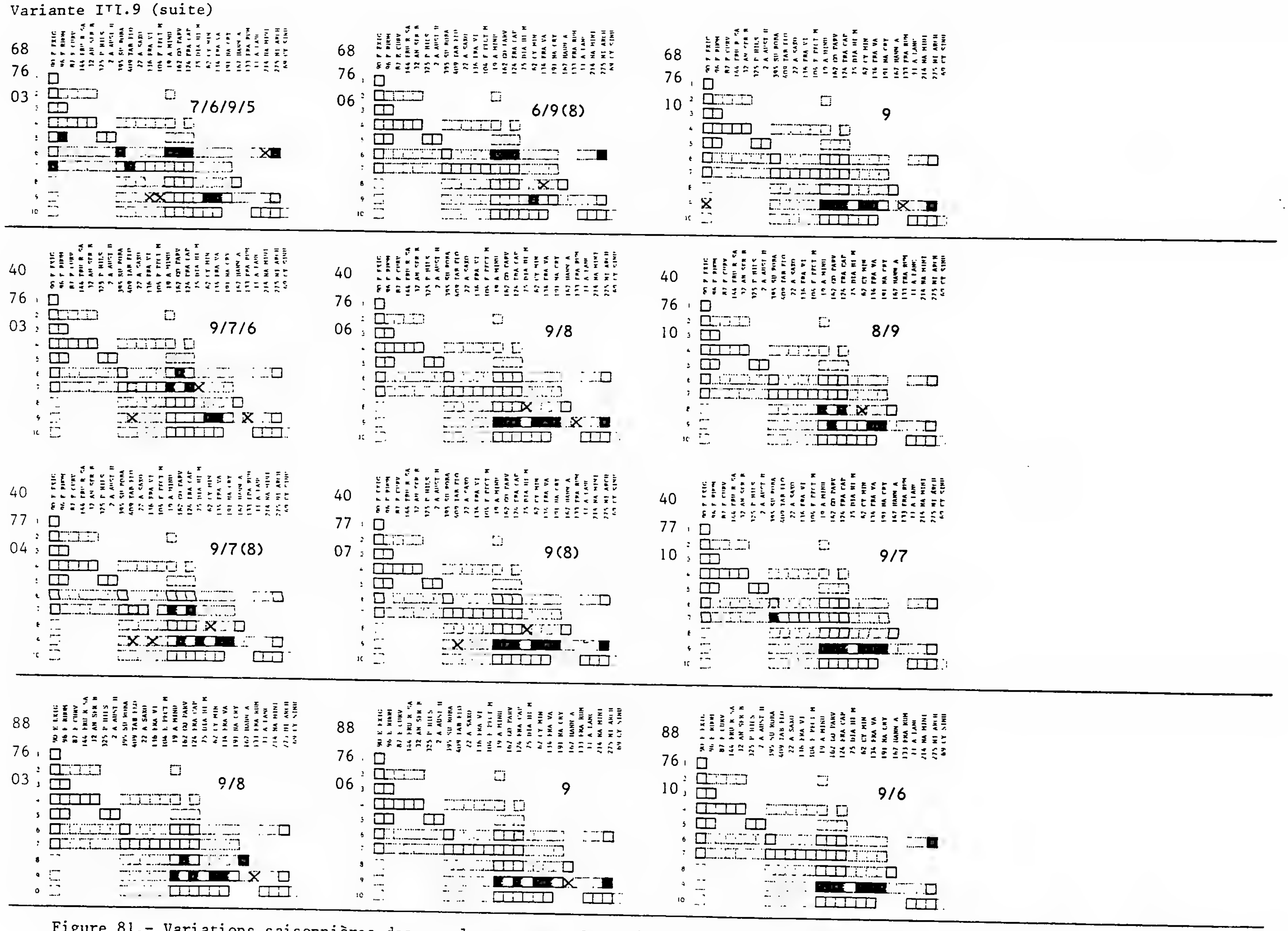


Figure 81.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante III.9 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77,78) et numéro de mois (03 à 11).

Variante III.9 (suite)

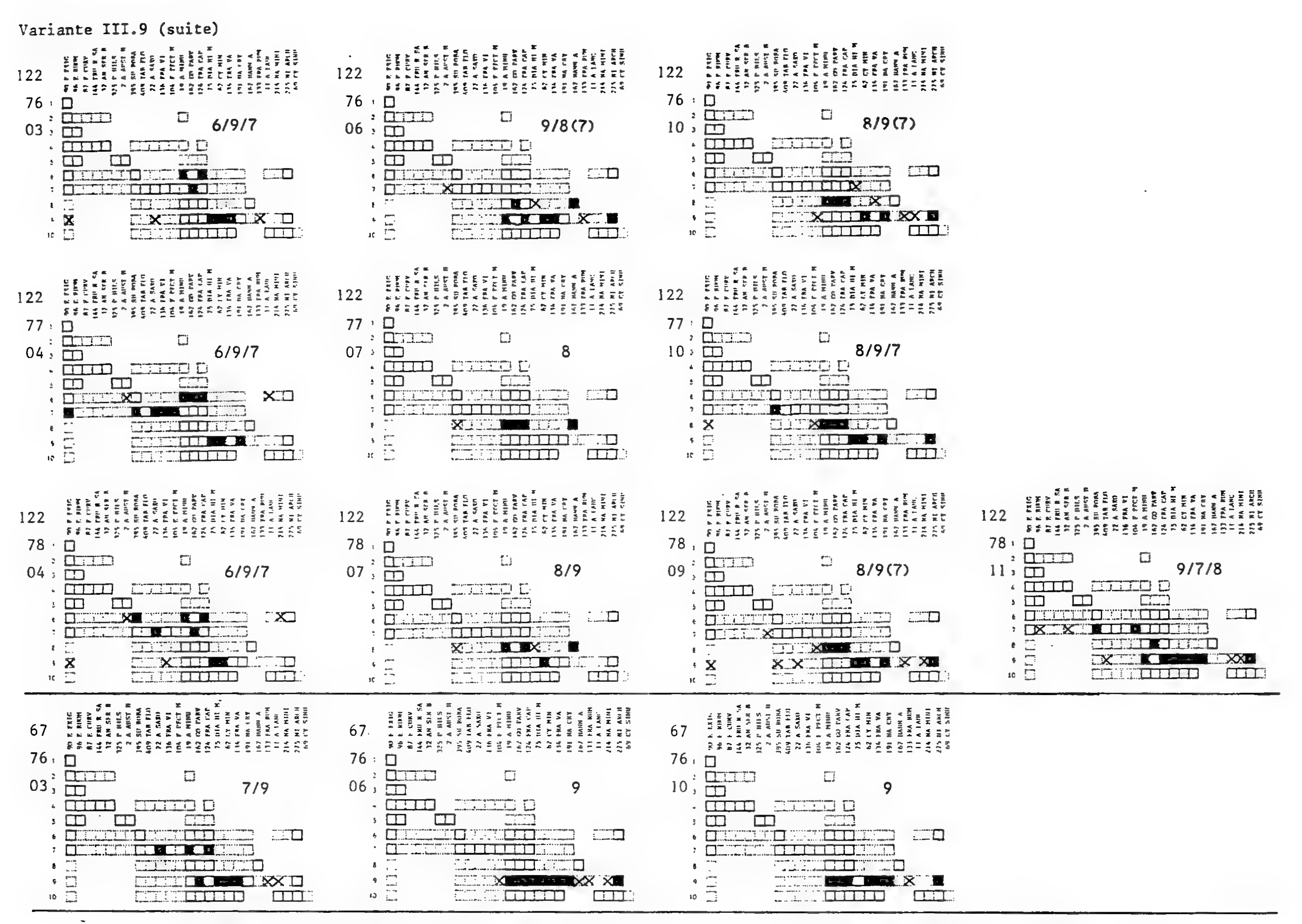


Figure 82.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante III.9 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77) et numéro de mois (03 à 10).

Variante III.9 (suite)

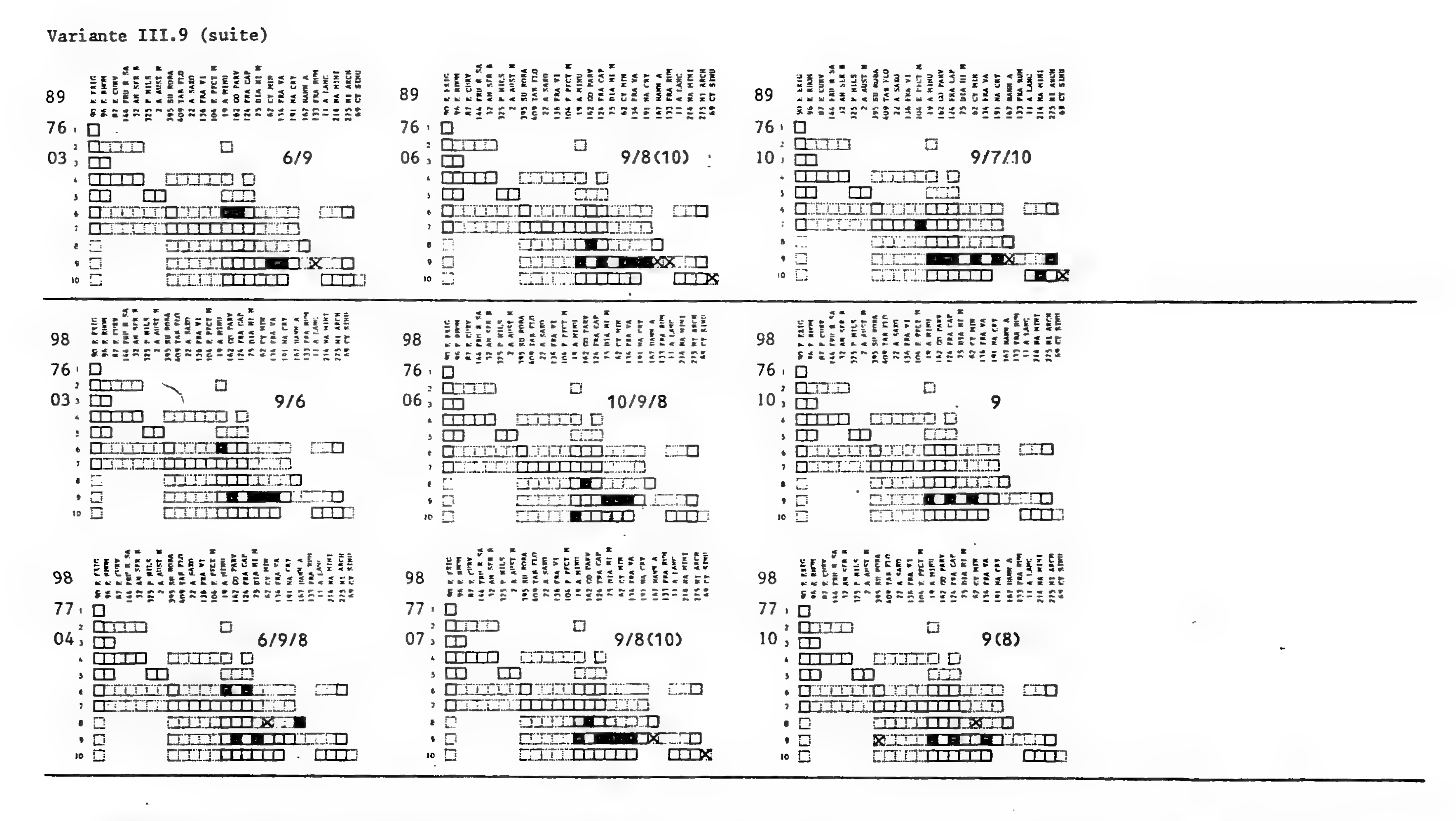


Figure 83.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante III.9 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77) et numéro de mois (03 à 10).

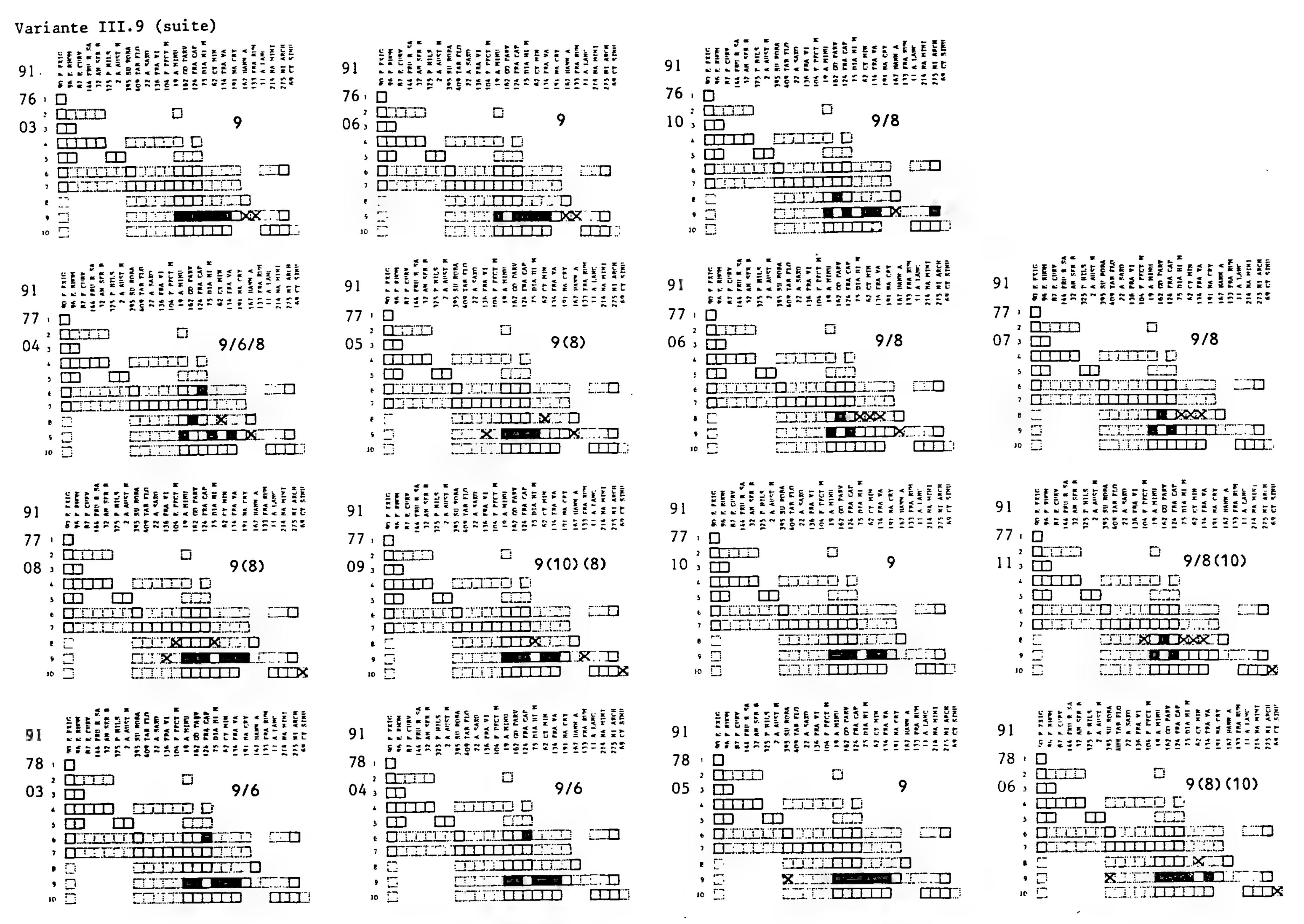


Figure 84.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante III.9 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (76,77,78) et numéro de mois (03 à 11).

Variante III.9 (suite)

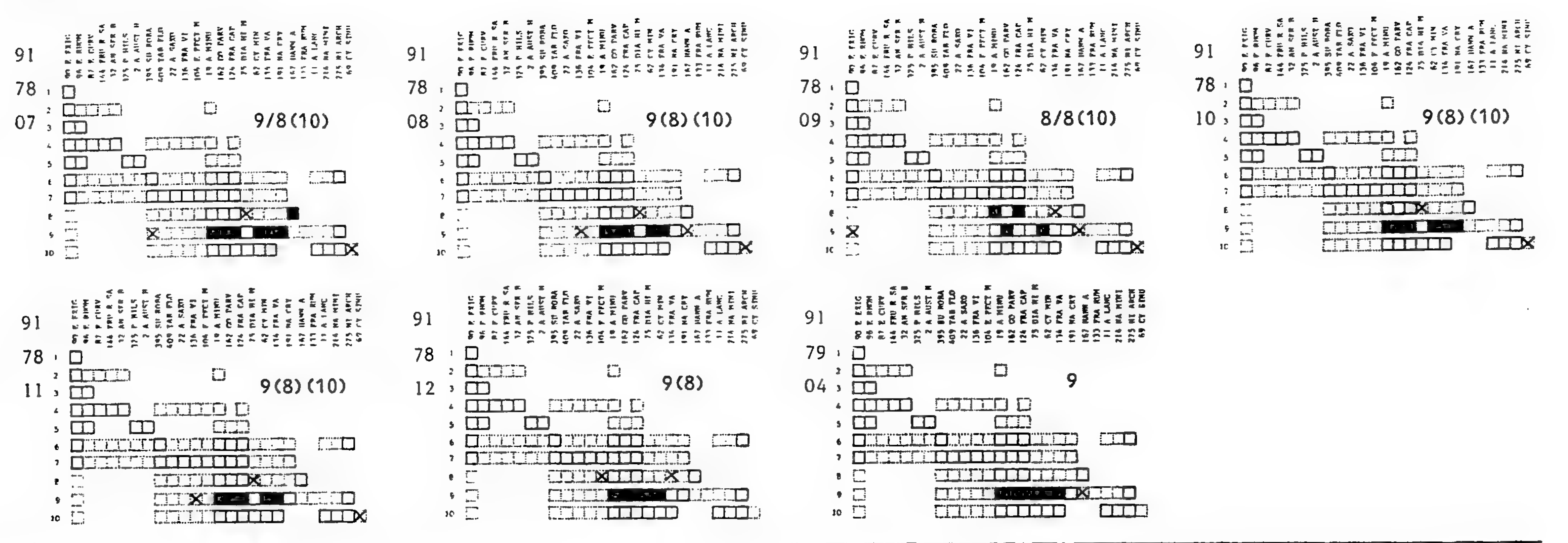


Figure 85.- Variations saisonnières des peuplements pour la variante III.9 (suite). A gauche des grilles: numéro de station, année (78,79) et numéro de mois (04 à 12).

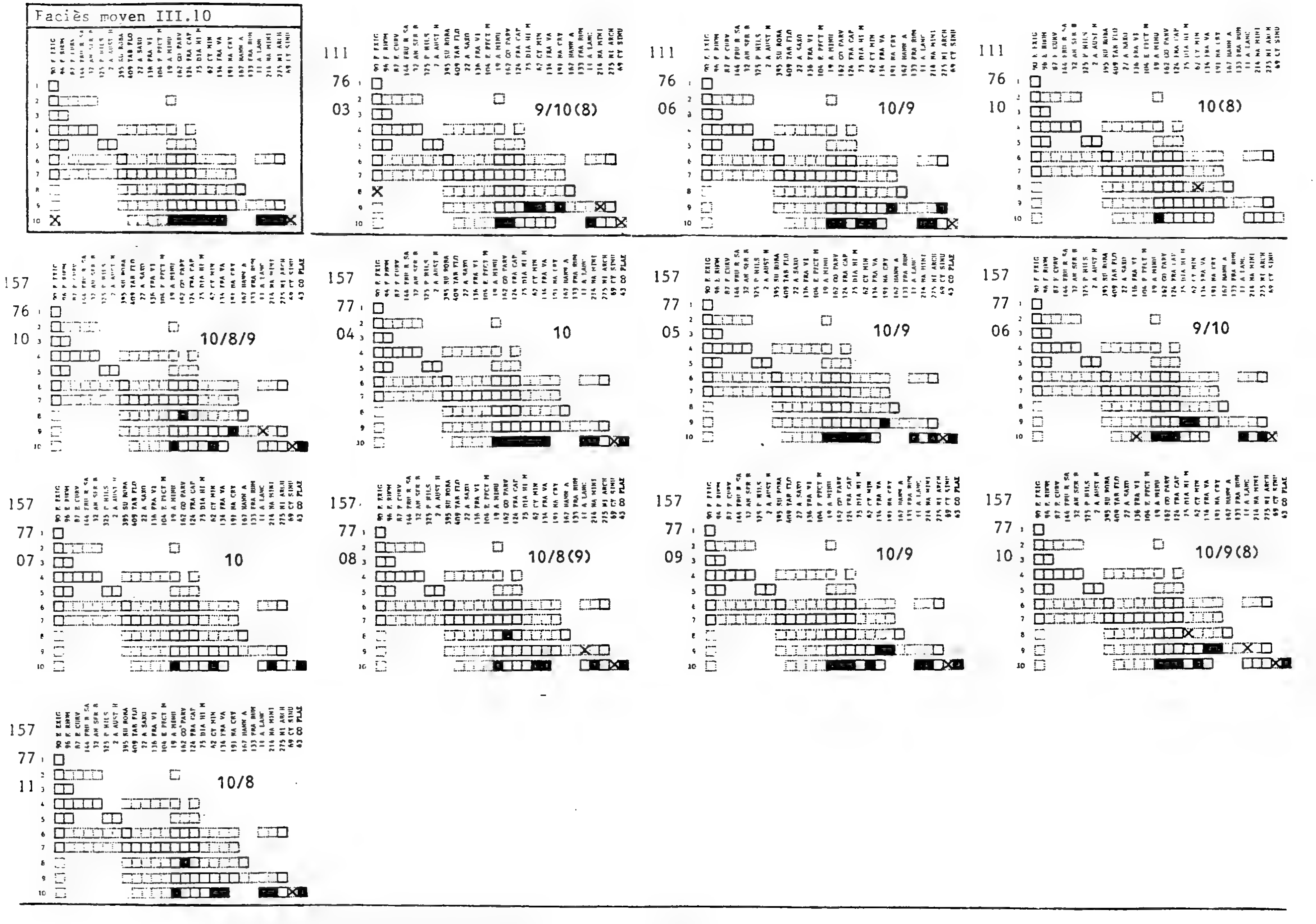


Figure 86.- Variations saisonnières des peuplements pour le faciès III.10. A gauche des grilles : numéro de station, année (76, 77) et numéro de mois (03 à 11).

5.3.7. Auto-écologie des taxons de diatomées répertoriés

5.3.7.1. Taxons abondants et taxons caractéristiques des variantes et faciès

Dans ce chapitre, nous ne considèrerons que les taxons qui ont un optimum bien net pour de faibles teneurs en phosphates, nitrates, nitrites et quelques taxons d'eau eutrophisée ou polluée, qui nous permettent de repérer éventuellement une légère altération dans certaines stations figurant dans notre typologie.

Dans ces conditions, nous décrirons de façon détaillée l'auto-écologie de 82 taxons, nous limitant à ceux qui ont été observés et comptés dans 10 % au moins des 841 relevés. Ce sont, à quelques exceptions près, les taxons qui ont été retenus pour l'analyse en composantes principales et les analyses par cluster (voir liste dans le tableau écologique moyen 71, hors texte).

Pour chacun de ces taxons, un spectre écologique a été tracé pour chacun des paramètres physico-chimiques d'après une méthode qui tient compte de l'abondance relative cumulée du taxon dans chacune des classes physico-chimiques définies dans le fascicule annexe (chapitre 5.5.). Les données concernant les taxons non comptés, mais seulement cités en dehors du comptage, interviennent dans la construction du spectre pour une abondance relative de 0.1 %. Pour chaque classe d'un paramètre, on obtient donc un pourcentage d'observations pondéré par l'abondance du taxon et le spectre est dessiné à une échelle de 1 cm pour 100 % d'observations.

Si le spectre d'un taxon se superpose exactement au spectre de distribution des valeurs d'un paramètre, on ne pourra tirer aucune conclusion concernant son écologie, ni son optimum. Celui-ci pourra, au contraire, être déterminé si pour une des classes le pourcentage cumulé d'observations est supérieur ou inférieur à celui des valeurs du paramètre. Enfin, ces spectres doivent être basés sur un nombre suffisant d'observations dans des milieux variés ce qui nous conduit à éliminer plusieurs taxons différentiels de stations, qui peuvent atteindre une abondance relative élevée mais dans une seule station. Les spectres sont rassemblés dans le fascicule annexe (chapitre 5.5.). Les spectres de référence (distribution des valeurs des paramètres physico-chimiques) ont été dessinés sur un calque, de manière à pouvoir être superposés aux spectres des taxons pour déterminer directement leurs préférences écologiques.

Pour chaque taxon, nous avons présenté les résultats de la façon suivante :

- le numéro d'ordre, le nom scientifique sans les patronymes (pour ceux-ci, se référer au fascicule annexe (chapitre 5.1)) et l'abréviation employée dans le texte;
- un tableau issu de la comparaison avec les spectres de référence (distribution des valeurs des paramètres) et donnant pour chaque paramètre, les limites où ont été faites au moins 5 % des observations (soit 0.5 mm sur les spectres) et la zone où le taxon atteint un optimum, indiquée entre parenthèses quand il est peu marqué;
- une synthèse du comportement du taxon vis-à-vis du pH, du niveau trophique, de la composition chimique globale de l'eau (type chimique où le taxon atteint son optimum, conductivité, sels dissous), de la pollution et de la température s'il existe un optimum;
- une discussion de nos résultats et leur comparaison avec ceux de la littérature surtout quand ils s'en écartent. Pour cette dernière rubrique nous avons utilisé largement la synthèse floristique et écologique figurant dans le fascicule annexe (chapitre 5.1.) dans lequel le lecteur trouvera également les nombreuses références bibliographiques citées à cette occasion (chapitre 6).

Pour la synthèse du comportement des taxons vis-à-vis des paramètres évoqués ci-dessus, nous avons utilisé les systèmes préconisés par différents auteurs.

Pour le pH, nous avons distingué, comme HUSTEDT (1939), mais avec quelques modifications les taxons :

- acidobiontes (taxons trouvés en dessous de pH 7, optimum en dessous du pH 5.5);
- acidophiles (taxons trouvés jusqu'à pH 7, optimum en dessous de pH 7, entre 5.5 et 6.5);
- neutrophiles (taxons se développant à pH 7)
- alcaliphiles (optimum au-dessus de pH 7)
- indifférents (aucun optimum entre les pH basiques et acides).

Les modifications apportées ont trait à la distinction entre taxons neutrophiles et "indifférents", et à la définition d'acidophiles que nous avons précisée (pH optimum entre 5.5 et 6.5). La classe des alcalibiontes n'est pas ou est peu représentée dans le territoire étudié.

Pour le niveau trophique, nous avons appliqué le système proposé par FABRI (1984) qui, après analyse de la littérature, a défini sur base des teneurs en nitrates et en magnésium des eaux les termes dystrophe, oligo-dystrophe, oligotrophe, oligo-mésotrophe, mésotrophe et mésotrophe à eutrophe.

Pour le comportement en présence de matières organiques, nous adoptons le système de FJERDINGSTADT (1965) qui définit la valeur saprobiale des espèces en 4 degrés:

- saprobionte (espèce très résistante, voire même favorisée par la pollution organique);
- saprophile (espèce résistante à la pollution organique);
- saproxène (espèce d'eau propre, mais encore capable de se développer en présence d'une très faible pollution organique);
- saprophobe (espèce exclusivement d'eau propre).

Vis-à-vis des chlorures, la situation est claire dans la région étudiée. En effet, si on se réfère au système des Halobies présenté par PIERRE (1969), tous nos taxons sont dans la zone des oligo-halobes ou des halophobes, mais nous ne disposons pas d'arguments pour les classer dans l'une ou l'autre de ces zones.

2. *Achnanthes austriaca* var. *helvetica* (A AUST H)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-7.5	4.5-5.5(6.5)	Na^{+} (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-16	(0.1)0.1-4	K^{+} (ppm)	0-3.2	(0.4-0.8)
SO_4^{--} (ppm)	3-30	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	0.6-20	2.5-5(10)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-5	2-3.5	NO_2^{-} (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	0.1-0.2(0.4)	NH_4^{+} (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-1.3	(0.7-1.1)	O_2 (% de sat)	85-105	85-105
Cl^{-} (ppm)	2-32	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	50-90
NO_3^{-} (ppm-N)	0-3	indéterminé	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- acidobionte, trouvé rarement en quantité importante à un pH supérieur à 6.5 et inférieur à 4.5
- oligotrophe
- pour les stations non polluées : types chimiques intermédiaires acides 4 - 5, optimum pour des teneurs en sulfates et calcium assez élevées. Développement optimum à la station 145 (Hoëgne)
- saprophobe

CHOLNOKY (1968) situe l'optimum de pH entre 5.5 et 6.

Achnanthes austriaca et sa variété *ventricosa* que nous avons toujours notés en compagnie de la variété *helvetica* semblent avoir la même écologie. Pourtant HUSTEDT (1957) considère *Achnanthes austriaca* comme une espèce alcaliphile, calciphile, saproxène ce qui ne concorde pas avec nos observations.

4. *Achnanthes bioretii* (A BIOR)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5,5-8,5	6,5-7,5	Na^{+} (ppm)	1,5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0,1-64	4-8(32)	K^{+} (ppm)	0,2-6,4	0,8-1,6
SO_4^{--} (ppm)	1,5-60	7,5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	0-0,1
Ca^{++} (ppm)	1,2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0,5-6,5	2-3,5	NO_2^{-} (ppb-N)	0-160	indéterminé
Fe (ppm)	0-1,6	0-0,1	NH_4^{+} (ppm-N)	0-0,4	0-0,1
Al (ppm)	0-0,3	0-0,1	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^{-} (ppm)	2-16	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	50-90
NO_3^{-} (ppm-N)	0,1-4	(1-3)	temp. (°C)	0,1-24	indéterminé

- neutrophile, observations rares en dessous d'un pH de 5.5
- mésotrophe
- pour les stations non polluées : type chimique neutre 9 - 10, en présence de teneurs en calcium et en magnésium plus élevées que dans les autres types. Développement régulier à la station 67 (Holzwarche)
- saproxène

Jusqu'à présent aucune indication écologique n'existait pour ce taxon récemment décrit par GERMAIN (1981).

11. *Achnanthes lanceolata* (A LANC)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-8.5	Na^+ (ppm)	3-12	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-128	8-16 et 64-128	K^+ (ppm)	0.4-6.4	0.8-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	indéterminé	oxyd. (ppm-O2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	2.5-40	5-10 et 20-40	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	30-75(150)
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5(9.5)	2-5(et 9.5!)	NO_2^- (ppb-N)	0-160	indéterminé
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	indéterminé
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1(0.3)	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	4-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	90-140 et 210-320
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	2-4	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- tendance alcaliphile, l'optimum de pH s'étendant de 6.5 à 8.5
- mésotrophe
- pour les stations non polluées : développement modéré dans le type chimique 11, en présence d'une alcalinité élevée (jusqu'à 32 ppm-$CaCO_3$) et de teneurs en magnésium élevées
- saproxène à saprophile

Ce taxon pose un problème puisqu'il présente 2 optimums très distincts pour l'alcalinité, le calcium et la conductivité : un pour les faibles valeurs (8 à 16 ppm $CaCO_3$, 5 à 10 ppm Ca^{++}, 90 à 140 µS/cm) l'autre pour des valeurs élevées (64 à 128 ppm $CaCO_3$, 20 à 40 ppm Ca^{++}, 210 à 320 µS/cm). Ceci n'est sans doute pas sans rapport avec la difficile distinction au microscope optique entre *Achnanthes lanceolata* et *Achnanthes rostrata*. Pour ce problème de détermination, nous renvoyons au chapitre floristique du fascicule annexe.
Les critères de distinction de ces deux taxons ont été établis récemment (MOSS et CARTER, 1982). Dans ces conditions, les données de la littérature sont difficiles à interpréter. Selon la conception ancienne, *Achnanthes lanceolata* est généralement considéré comme alcaliphile à neutrophile (optimum de pH de 7.2 à 7.5 pour CHOLNOKY, 1968), mésotrophe à eutrophe. En ce qui concerne la pollution, les avis sont très différents : de sensible à la pollution (DESCY, 1979) à résistant à la pollution (LANGE - BERTALOT , 1979).

16. *Achnanthes lapponica* (A LAPP)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	4.5-8.5	(6.5-7.5)	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	(0.1-32)	K^+ (ppm)	0-3.2	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	0-15	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0.1-10	0.1-1.2
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-30	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.2	0-0.1
Al (ppm)	0-0.5	0-0.1(0.3)	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-8	(2)4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	20-90
NO_3^- (ppm-N)	0.1-2	(0.1-1)	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- plutôt indifférent au pH (optimum peu marqué de 6.5 à 7.5)
- oligo- à mésotrophe
- pour les stations non polluées : type chimique 10 neutre à tendance basique. Systématiquement observé et jamais abondant dans des affluents de l'Our (st. 88, 89, 91 et 98)
- saprophobe.

Très peu d'indications dans la littérature (xéno- à oligosaprobe dans SLÀDECEK, 1973).

18. *Achnanthes marginulata* (A MARG)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	4.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-32	(4)8-16	K^+ (ppm)	0-3.2	0.4-0.8
SO_4^{--} (ppm)	1.5-60	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	0-0.1
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	(2.5-10)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	(0-15)
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-20	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	0-0.1	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	(1-2)	temp. (°C)	0.1-20	4-8

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- pour les stations non polluées : types chimiques neutres (8), 9 - 10 avec des teneurs assez élevées en magnésium. Développement régulier à la station 13 (Schwalm) et surtout dans un prélèvement de la station 19 (Jagersief)
- saproxène
- préférence pour des températures fraîches entre 4 et 8° C.

Nos conclusions correspondent à celles de la littérature.

19. *Achnanthes minutissima* (A MINU)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	4.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	indéterminé
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-128	4-8(16)	K^+ (ppm)	0-6.4	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	0-30	(3-7.5)	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-40	indéterminé	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	(0-5)
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	(2-3.5)	NO_2^- (ppb-N)	0-80	indéterminé
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.5	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	20-320	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	(1-2)	temp. (°C)	4-20	indéterminé

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- pour les stations non polluées : types chimiques 6 à 11
- saproxène

Ce taxon a une amplitude écologique assez large, allant des milieux de type intermédiaire acide à des milieux neutres à tendance basique. Nous l'avons même observé en quantité importante à un pH $<$ 4 mais dans des conditions tout à fait exceptionnelles (étiage d'octobre 1976). Les optimums les plus nets sont observés pour le pH et l'alcalinité. Les données de la littérature correspondent aux nôtres notamment pour le pH (optimum 6.8 à 7.8 pour CHOLNOKY, 1968). Par contre, vis à vis de la pollution, les conceptions sont très variées : sensible à la pollution pour la plupart des auteurs, oligo- à bétamésosaprobe pour SLADECEK (1973) ou saprophile mais mauvais indicateur pour FJERDINGSTAD (1964).

20. *Achnanthes minutissima* var. *jackii* (A MINU J)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	8-16	K^+ (ppm)	0.4-6.4	indéterminé
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0.1-20	0.1-1.2
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	(2.5-5)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-160	(10-20 et 40-80)
Fe (ppm)	0-0.8	0.4-0.8	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	(0-0.1)
Al (ppm)	0-0.5	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	(50-90)
NO_3^- (ppm-N)	0-4	indéterminé	temp. (°C)	4-24	indéterminé

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- pour les stations non polluées : types chimiques 8 à 10
- saproxène ? (optimum peu marqué pour de faibles teneurs en nitrites).

Cette variété a une amplitude moins large que *Achnanthes minutissima*. De plus, elle semble moins sensible à la pollution. Nos observations correspondent à celles de la plupart des auteurs. Cependant, VAN DER WERFF & HULS (1957 - 1974) le considèrent comme oligotrophe et DESCY (1979), comme très sensible à la pollution.

22. *Achnanthes saxonica* (A SAXO)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	4.5-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-6	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-16	0.1-8	K^+ (ppm)	0-1.6	0.2-0.4
SO_4^{--} (ppm)	0-30	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-2.5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-5	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	(0.2-0.4)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.2	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1(0.3)	O_2 (% de sat)	85-105	85-105
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0.1-2	0.1-1	temp. (°C)	4-20	4-8

- acidophile
- oligotrophe
- pour les stations non polluées : type chimique 6 (intermédiaire légèrement acide) ou 8 (neutre à tendance acide). Ces deux types sont caractérisés par une minéralisation globale très faible (optimum de conductivité entre 20 et 50 µS/cm et faibles teneurs en calcium et magnésium). Ce taxon est toujours abondant à la station 119 (Roba)
- saprophobe
- préférence pour des températures fraîches (4 à 8° C).

Il n'y a aucune indication écologique dans la littérature pour ce taxon très intéressant qui caractérise des eaux légèrement acides, oligotrophes très peu minéralisées et froides.

30. *Amphora pediculus* (AMPHO PE)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	6.5-8.5	7.5-8.5	Na^+ (ppm)	3-12	(3-12)
alc. (ppm-$CaCO_3$)	8-128	64-128	K^+ (ppm)	0-6.4	(0.8-1.6)
SO_4^{--} (ppm)	3-30	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0.1-5	0.1-1.2
Ca^{++} (ppm)	2.5- 40	20-40	PO_4^{---} (ppb-P)	0-150	30-75
Mg^{++} (ppm)	2- 9.5	9.5	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	0-0.2	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.2	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	85-105	85-105
Cl^- (ppm)	2-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	210-320
NO_3^- (ppm-N)	0.1-5	2-4	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- alcaliphile
- méso- à eutrophe
- pour les stations non polluées : type chimique 10 : une seule station (station 157)
- saproxène.

L'avantage de considérer l'ensemble des 841 stations apparaît ici de façon évidente : ce taxon qui semble caractériser la station 157 a en réalité, son optimum dans des eaux très minéralisées (optimum de conductivité : 210 à 320 µS/cm) de type calcaire. Sa présence à la station 157 est la conséquence d'une eutrophisation. Plutôt considéré comme un taxon sensible à la pollution (LANGE - BERTALOT , 1979; DESCY, 1979) et indicateur d'eau calcaire, il apparaît donc ici comme un indicateur d'altération d'un milieu mésotrophe.

31. *Anomoeoneis serians* var. *serians* (AN SER)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	3.3-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-32	0.1-8	K^+ (ppm)	0-3.2	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	1.5-60	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	0-0.1 et 1.2-2.5
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	indéterminé	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-80	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	(0-0.1)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.9	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	(85-105)
Cl^- (ppm)	2-16	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	(20-50)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-2	(1-2)	temp. (°C)	4-24	indéterminé

- acidophile
- oligotrophe
- pour les stations non polluées : eau peu minéralisée (optimum de conductivité de 20 à 50 µS/cm)
- saproxène

Ce taxon n'est jamais abondant dans nos prélèvements. Il est noté dans toute la gamme de pH de 3.3 à 7.5 mais plus systématiquement entre 5.5 et 6.5. Nos observations correspondent à celles de la littérature mais il est considéré comme saproxène (HUSTEDT, 1957) ou oligosaprobe (SALDEN, 1978).

32. *Anomoeoneis serians* var. *brachysira* (AN SER B)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-6.5	3.3-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-6	1.5-3
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-16	0-4	K^+ (ppm)	0-1.6	0.2-0.8
SO_4^{--} (ppm)	3-30	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0.1-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-2.5(5)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-3.5	(0)0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-5	0-5
Fe (ppm)	0.2-3.2	0.4-1.6	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.2	0-0.1
Al (ppm)	0.1-1.3	0.1-0.3(0.5)	O_2 (% de sat)	85-100	85-100
Cl^- (ppm)	2-8	2-4	cond. (μS/cm à 25°C)	20-140	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0-2	0.1-1.0	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- acidophile
- dystrophe à oligotrophe
- pour les stations non polluées : type chimique 4, intermédiaire acide mais aussi type chimique 2 dans les conditions exceptionnelles de sécheresse en octobre 1976. Optimum assez marqué pour des teneurs assez élevées en fer et aluminium, pour des teneurs faibles en nitrates et pour des eaux peu minéralisées (optimum de 20 à 50 μS/cm). Ce taxon est toujours assez abondant à la station 39 (Roer) et 43 (Schwarzbach)
- saprophobe.

L'optimum de pH est beaucoup plus étendu que celui de CHOLNOKY (1968) (entre 5.2 et 5.3). Nos observations complètent utilement les rares données de la littérature.

33. *Anomoeoneis vitraea* f.*vitraea* (AN VIT)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	4.5-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	0.8-6	(0.8)1.5-3
alc. (ppm-$CaCO_3$)	1-8	0.1-8(16)	K^+ (ppm)	0-0.8	(0)0.2-0.4
SO_4^{--} (ppm)	0-15	3-15	oxyd. (ppm-O_2)	2.5-40	5-20
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-2.5(5)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-3.5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-5	0-5
Fe (ppm)	0.2-3.2	0.8-1.5	NH_4^+ (ppm-N)	0.1-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0.1-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	85-105
Cl^- (ppm)	1-16	4-8	cond. (μS/cm à 25°C)	20-90	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0.1-1	0.1-1	temp. (°C)	0.1-16	indéterminé

- acidophile
- (oligotrophe) dystrophe
- pour les stations non polluées : type chimique 6, intermédiaire légèrement acide correspondant à des eaux très peu minéralisées (20 à 50 μS/cm) mais riches en fer. Développement important pendant toute l'année à la station 31 (ruisseau de la Schwarzes Venn)
- saprophobe.

Ce taxon pourrait être considéré comme dystrophe (optimum d'oxydabilité élevé en relation avec l'abondance d'acides humiques) mais le pH observé est plus élevé qu'. abituellement dans ce type d'eau. La littérature est souvent en contradiction avec nos conclusions : alcaliphile (HUSTEDT, 1957) et même alcalibionte (HUSTEDT, 1959), optimum vers des pH de 6.7 (CHOLNOKY, 1968), calciphile (GERMAIN, 1981) et saproxène (HUSTEDT, 1957).

Ce taxon n'étant en fait abondant qu'à une seule de nos stations et rare ailleurs, nos conclusions ne sont qu'indicatives : on peut le considérer comme un différentiel de la station 31 mais les données de la littérature ne permettent pas d'expliquer le développement important qu'il y atteint.

La variété *lanceolata* est rencontrée dans les mêmes conditions.

43. *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (CO PLA E)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	7.5-8.5	Na^+ (ppm)	3-12	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-128	(16-32)64-128	K^+ (ppm)	0.8-6.4	0.8-3.2
SO_4^{--} (ppm)	3-30	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0.1-20	0.1-1.2
Ca^{++} (ppm)	2.5-40	(5-10)20-40	PO_4^{---} (ppb-P)	0-150	30-150
Mg^{++} (ppm)	2-6.5	3.5-5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	20-80
Fe (ppm)	0-0.8	(0.1-0.2)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.5	0-0.1	O_2 (% de sat)	85-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	4-16	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	(90-140)210-320
NO_3^- (ppm-N)	1-4	2-3	temp. (°C)	4-24	indéterminé

- alcaliphile
- mésotrophe
- pour les stations non polluées : type chimique 11, station 157
- saproxène.

Le même commentaire que pour *Amphora pediculus* s'impose pour ce taxon qui est habituellement considéré comme un taxon d'eau calcaire propre mais se développe dans nos eaux naturellement mésotrophes mais devenues eutrophes par la traversée de pâtures amendées ou après une pollution modérée. On peut ainsi expliquer le double optimum observé pour l'alcalinité, le calcaire et la conductivité : l'optimum inférieur correspond à ces pollutions légères, le supérieur aux eaux calcaires. On notera également un optimum pour des valeurs élevées en nitrites.

Nous ne pouvons donc pas considérer que ces deux taxons (*Cocconeis placentula* var. *euglypta* et *Amphora pediculus*) sont sensibles à la pollution comme DESCY (1979) le signale mais il faut relativiser l'indication qu'ils fournissent en fonction du type naturel d'eau où ils ont été recensés.

61. *Cymbella lunata* (CY LUNA)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	4.5-7.5	4.5-5.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	0.1-4(8-16)	K^+ (ppm)	0.2-6.4	0.4-0.8
SO_4^{--} (ppm)	1.5-60	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	(2.5-5)
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	(0.1-0.2)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.2	0-0.1
Al (ppm)	0-0.7	0.5-0.7	O_2 (% de sat)	65-105	(85-105)
Cl^- (ppm)	2-16	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	1-2	temp. (°C)	0.1-16	0.1-4

- acidobionte
- dystrophe (oxydabilité due à des acides humiques) à oligotrophe
- pour les stations non polluées : eaux acides mais plutôt riches en calcium (optimum de 5 à 10 ppm) et en chlorures (optimum de 8 à 16 ppm)
- saprophobe
- préférence pour des températures froides de 0.1 à 4° C).

C'est un taxon rare, intervenant peu dans les comptages. CHOLNOKY (1968) situe le pH optimum à un niveau élevé (6.3 à 6.5) mais d'autres le citent comme acidophile. Nous l'avons trouvé dans des conditions plus acides. Nos autres conclusions rejoignent celles de la littérature.

62. *Cymbella minuta* var. *minuta* (CY MIN)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5(8.5)	Na^+ (ppm)	3-24	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-64	8-32	K^+ (ppm)	0.4-6.4	0.8-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	3-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	30-75
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	2-5	NO_2^- (ppb-N)	0-160	indéterminé
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	indéterminé
Al (ppm)	0-0.3	(0)0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-210	90-140
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	(1)2-3	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- neutrophile (tendance alcaliphile)
- mésotrophe
- pour les stations non polluées : types chimiques 9 - 10, eaux neutres assez minéralisées (optimum de 90 à 140 µS/cm), riches en calcium, chlorures et sodium avec une alcalinité élevée
- saproxène avec un optimum peu marqué pour des teneurs en phosphates de 30 à 75 ppb-P.

Ce taxon ne nous paraît pas sensible à la pollution comme le disent DESCY (1979) et GERMAIN (1981), tout au moins si elle demeure modérée, ni très résistant (d'après LANGE-BERTALOT, 1979). D'après nos résultats, son spectre des phosphates répond bien à la définition de saproxène. Il paraît indifférent vis à vis des nitrites et de l'ammoniaque. Son développement modéré dans nos eaux les plus mésotrophes n'indique pas une pollution mais plutôt une minéralisation plus élevée (voir assemblage III.9).

64. *Cymbella naviculiformis* (CY NAVI)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-8.5	(6.5-7.5)	Na^+ (ppm)	1.5-12	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-64	8-16	K^+ (ppm)	0-3.2	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	0-60	(30-60)	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	(0-15)
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	(2-5)	NO_2^- (ppb-N)	0-80	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	0.8-1.6	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	indéterminé	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0-3	indéterminé	temp. (°C)	0.1-24	8-12

- indifférent,
- oligo- à mésotrophe
- pour les stations non polluées : indifférent vis à vis de la conductivité (de 20 à 210 µS/cm), dans des eaux riches en fer, sodium et chlorures
- saprophobe.

Ce taxon n'est jamais abondant ce qui explique sans doute cette assez large amplitude écologique. C'est d'ailleurs l'avis de nombreux auteurs. Comme GERMAIN (1981), nous l'avons parfois observé dans des eaux acides de tourbières mais préférentiellement dans des eaux neutres assez minéralisées.

69. *Cymbella sinuata* (CY SINU)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	6.5-8.5	6.5-8.5	Na^+ (ppm)	3-24	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-128	32-64	K^+ (ppm)	0.4-6.4	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	2.5-40	5-20	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	(300-600)
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	3.5-5	NO_2^- (ppb-N)	0-160	40-80
Fe (ppm)	0-1.6	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	0.4-0.8
Al (ppm)	0-0.7	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-125	65-105
Cl^- (ppm)	2-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	140-210
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	(1)2-3	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- neutrophile (tendance alcaliphile)
- méso- à eutrophe
- pour nos stations non polluées : type chimique 11 (eaux neutres à tendance basiques). Taxon d'eaux très minéralisées (conductivité optimale : 140 - 210 µS/cm) à tendance calcaire (optimum de 5 à 20 ppm Ca), riches en magnésium , chlorures, sodium et potassium.
- saproxène (à tendance saprophile ?).

Les valeurs physico-chimiques extraites des 841 prélèvements sont toutes largement supérieures aux valeurs normalement observées dans les 432 prélèvements d'eaux propres. Ce taxon est d'ailleurs peu développé dans nos stations et uniquement dans les plus riches. Son optimum se situe dans les eaux calcaires et son comportement rejoint celui d'*Amphora pediculus* et de *Cocconeis placentula* var. *euglypta* c'est-à-dire que comme eux *Cymbella sinuata* ne doit pas être considéré comme sensible à la pollution dans tous les types d'eau mais au contraire comme indicateur de pollution dans les eaux mésotrophes. Cette interprétation sélective n'est mentionnée par aucun auteur.

75. *Diatoma hiemale* var. *mesodon* (DIA HI M)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	4-8(16)	K^+ (ppm)	0-3.2	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	0-15	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	(0-0.1)
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	(1.2-5)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	0-0.1	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-105	25-100
Cl^- (ppm)	2-16	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	1-2	temp. (°C)	0.1-20	4-8

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- pour nos stations non polluées : types chimiques 9 - 10 et 11, c'est-à-dire dans des eaux neutres parfois à tendance basique mais à minéralisation assez élevée (optimum de 50 à 90 µS/cm)
- saprophobe
- préférentiellement à des températures fraîches (4 à 8° C).

Dans notre chapitre sur les variations saisonnières, nous avons déjà signalé la préférence de ce taxon pour les eaux naturelles les plus minéralisées que nous avons étudiées dans ce travail. Nos observations s'éloignent de celles de HUSTEDT (1957) qui le dit alcalibionte et dans une moindre mesure de celles de SALDEN (1978) qui cite comme optimum un pH de 7.2 à 7.8. Sa préférence pour les eaux fraîches l'a fait classer parmi les taxons montagnards de nos régions. C'est plutôt un taxon à développement printanier . *Diatoma hiemale* (DIA HI) a été très rarement noté mais toujours en compagnie de sa variété *mesodon*.

77. *Diatoma tenue* var. *elongatum* (DIA TE E)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	6.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	3-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-32	4-16	K^+ (ppm)	0.4-3.2	0.4-0.8(et1.6-3.2)
SO_4^{--} (ppm)	3-30	3-7.5(15)	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	(1.2-2.5)
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	30-75
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	10-20
Fe (ppm)	0.1-1.6	0.8-1.6	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.2	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	4-64	4-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	(50-90)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	3-4	temp. (°C)	4-20	4-8

- neutrophile
- mésotrophe

- pour nos stations non polluées : type chimique 10, station 40 (Petite Roer)
- saproxène (à tendance saprophile ?)
- préférentiellement à des températures fraîches (4 à 8° C).

Ce taxon est rare partout sauf à la station 40 où il atteint un développement très important surtout au printemps, comme l'indique l'optimum de température. Il est donc normal d'observer des optimums très marqués qui reflètent les caractéristiques physico-chimiques de la station plutôt que les exigences écologiques du taxon. Néanmoins, l'optimum pour les phosphates (30 à 75 ppb - P) ne provient pas de cette station qui en est en général dépourvue, ce qui nous amène à classer ce taxon parmi les saproxènes (à tendance saprophile ?). La littérature le considère plutôt comme un alcaliphile (HUSTEDT, 1957; CHOLNOKY, 1968) d'eau eutrophe (VAN DER WERFF & HULS, 1957 - 1974) et saprophile (FJERDINGSTADT, 1965; LANGE - BERTALOT, 1979).

87. *Eunotia curvata* var. *curvata* (E CURV)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-7.5	3.5-4.5(5.5)	Na^+ (ppm)	1.5-6	1.5-3
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-16	0-0.1	K^+ (ppm)	0-1.6	0-0.2
SO_4^{--} (ppm)	3-60	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	(1.2-2.5)
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-2.5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-30	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-3.5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-40	0-5
Fe (ppm)	0.1-3.2	0.8-1.6(3.2)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-1.1	(0.3)0.5-0.7	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	2-4	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0-2	0.1-1	temp. (°C)	0.1-20	4-8

- acidobionte (à acidophile ?)
- oligo- à dystrophe
- pour nos stations non polluées : types chimiques 1 - 2, acides mais développement optimum dans le type chimique 4, intermédiaire acide (stations 30 : Scheidbach, 39 : Roer)
- saproxène
- préférentiellement à des températures fraîches (4 - 8° C)

Ce taxon atteint son optimum de développement dans les stations de types intermédiaires acides mais, toutes les autres observations sont faites en eaux plus acides. Il est donc difficile de savoir s'il s'agit d'un taxon acidobionte parce que le spectre montre un optimum pour un pH inférieur à 5.5 ou d'un acidophile parce qu'il est abondant dans des eaux moins acides. De toute façon, dans l'un et l'autre cas, nos résultats montrent une acidophilie plus marquée que ceux de la littérature (notamment pH optimum de 6 à 6.8 pour SALDEN, 1978) et une sensibilité certaine à la pollution alors que PIERRE (1969 a) le dit peu sensible. Le développement de ce taxon est surtout printanier (température optimale fraîche).

90. *Eunotia exigua* var. *exigua* (E EXIG)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	3.3-7.5	3.3-4.5	Na^+ (ppm)	0.8-6	1.5-3
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-8	0-0.1(4)	K^+ (ppm)	0-1.6	0-0.2
SO_4^{--} (ppm)	3-60	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-2.5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-3.5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-3.2	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-1.3	(0.5-1.1)	O_2 (% de sat)	65-105	85-105
Cl^- (ppm)	1-16	2-4	cond. (μS/cm à 25°C)	20-210	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0-2	0.1-1	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- acidobionte (à acidophile)
- dystrophe à oligotrophe
- pour les stations non polluées : optimum dans les eaux de types chimiques 1 à 5, acides à intermédiaires, encore abondant dans les types chimiques 6 et 7 intermédiaires légèrement acides. Les peuplements presque purs correspondent au type chimique 1 (stations 35 : Soor; 160 et 252 : Helle; 29 : Bayehon)
- saprophobe.

Ce taxon est très important pour notre typologie car il régresse régulièrement au fur et à mesure que le pH augmente soit pour des raisons géologiques (passage d'une roche pauvre à une roche plus riche), soit pour des motifs saisonniers (augmentation régulière du pH de l'été à l'automne. Etant donné qu'on peut encore rencontrer ce taxon relativement fréquemment dans les milieux intermédiaires légèrement acides, il est difficile de le traiter en acidobionte strict. L'optimum pour des conductivités assez élevées (50 à 90 μS/cm) est lié à l'optimum pour des teneurs élevées en sulfates (15 - 30 ppm SO_4^{--}), l'optimum pour les autres éléments étant plutôt situé dans les classes inférieures. VAN DAM (1981) souligne aussi la corrélation positive entre l'abondance de ce taxon et la teneur en sulfates. Les pH optimums de CHOLNOKY (1968 : 5.2 - 5.3) et de SALDEN (1978 : 5 à 5.8) sont plus élevés que les nôtres. Nos observations sont intéressantes car elles montrent qu'une acidité aussi importante que celle de nos tourbières et des cours d'eau qui en sortent n'a pas été rencontrée par ces auteurs et n'est donc pas un fait général. La variété *bidens* (E EXIG B) a été trouvée avec le type dans les mêmes conditions.

96. *Eunotia rhomboidea* (E RHOM)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-6.5	3.3-4.5	Na^+ (ppm)	1.5-6	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-8	0-0.1	K^+ (ppm)	0-1.6	(0.2-0.4)
SO_4^{--} (ppm)	3-30	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	2.5-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-30	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-3.5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-3.2	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-1.3	0.5-0.9(1.1)	O_2 (% de sat)	65-105	85-105
Cl^- (ppm)	2-3.2	4-8	cond. (μS/cm à 25°C)	20-140	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0-2	0-1	temp. (°C)	0.1-16	indéterminé

- acidobionte
- oligo- à dystrophe
- pour les stations non polluées : surtout dans les eaux de types chimiques 2 et 3, c'est-à-dire des eaux acides plus minéralisées que les types 1 et 4 (notamment plus riches en calcium, chlorures et sodium). Les plus beaux développements sont trouvés aux stations

94, 95 (Helle) et 139 (Hoëgne)

- saprophobe.

L'autoécologie de ce taxon diffère de celle d'*Eunotia exigua* par les optimums pour des teneurs élevées en calcium, chlorures et sodium c'est-à-dire pour des eaux plus minéralisées. De plus, il est strictement acidobionte, les observations à un pH supérieur à 6.5 étant très rares. Le pH optimum est inférieur à celui donné par CHOLNOKY, 1968 (environ 5.5) pour la même raison que celle évoquée pour *Eunotia exigua*. HUSTEDT (1957) le considère comme saproxène et nous comme saprophobe.

103. *Eunotia pectinalis* var. *pectinalis* (E PECT)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	3.3-8.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-64	0.1-8	K^+ (ppm)	0-3.2	0.2-0.4
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-2.5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	0.1-0.2	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	0-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0-2	0.1-1	temp. (°C)	4-20	4-8

- acidophile
- oligotrophe (à dystrophe)
- pour nos stations non polluées : observé régulièrement dans les eaux de type chimique 6 (intermédiaire légèrement acide) mais aussi dans celles des types 8 et 9 (neutres), en fait dans des eaux très peu minéralisées (conductivité optimale à 20 - 50 µS/cm), pauvres en sulfates, calcium et magnésium
- saproxène
- préférentiellement dans des eaux fraîches (4 à 8° C).

C'est un taxon qui caractérise bien notre assemblage II. 7 et plus particulièrement les stations 31 (ruisseau de la Schwarzes Venn) et 119 (Roba).
PATRICK & REIMER (1966) le trouvent dans des régions froides et nous lui attribuons également une préférence pour les températures fraîches. D'après nos observations, le pH optimum est bien marqué entre 5.5 et 6.5 et correspond à ceux de CHOLNOKY (1968 : pH 6.8) et de SALDEN (1978 : entre 5 et 5.5). Pourtant, d'autres auteurs le considèrent comme euryionique (HUSTEDT, 1957; PIERRE, 1969 a). Curieusement, PATRICK & REIMER (1966) le citent parmi les taxons eutrophes.

- Les variétés *undulata* et *ventricosa* sont notées plus rarement en compagnie de l'espèce.

104. *Eunotia pectinalis* var. *minor* (E PECT M)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	4.5-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	indéterminé
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	0.1-8	K^+ (ppm)	0-3.2	0.2-0.4
SO_4^{--} (ppm)	0-30	(3-7.5)	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-40	1.2-2.5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.3-6.5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-40	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	(0.2-0.4)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	(0.1-1)	temp. (°C)	0.1-16	indéterminé

- acidophile
- oligotrophe
- pour les stations non polluées : surtout dans le type chimique 6 (intermédiaire légèrement acide) comme *Eunotia pectinalis* et plus particulièrement à la station 121 (Rechterbach)
- saproxène

L'autoécologie de ce taxon est proche de celle d'*Eunotia pectinalis* mais son amplitude vis à vis du pH est plus étroite. Les optimums pour les autres paramètres sont identiques. C'est un taxon assez abondant alors qu'*Eunotia pectinalis* est presque toujours isolé.
PATRICK & REIMER (1966) affirment qu'il supporte des teneurs en calcium plus élevées que les autres *Eunotia* alors que nous le trouvons dans des eaux très peu minéralisées avec un optimum pour de faibles teneurs en calcium (de 1.2 à 2.5 ppm). Nous le considérons comme un taxon caractérisant les eaux de types intermédiaires légèrement acides et non les eaux des rivières ardennaises normalement plus mésotrophes, comme le propose DESCY (1979).

107. *Eunotia praerupta* var. *praerupta* (E PRAE)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	(3-6)
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	(8)16-32	K^+ (ppm)	0.2-6.4	0.8-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-160	10-20
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	(8-16)	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-2	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- indifférent (saproxène ?).

Souvent noté mais jamais abondant, cet *Eunotia* est, d'après nos données et contrairement aux autres taxons du genre, nettement neutrophile. CHOLNOKY (1968) donne cependant un pH optimum de 5.5. De plus, nous l'observons en présence de teneurs en phosphates assez élevées, son optimum se situe entre 10 et 20 ppb N - NO_2 et 0.1 - 0.2 ppb N - NH_4^+. Il pourrait donc être classé parmi les saproxènes comme le préconisent HUSTEDT (1957) et PIERRE (1969 b).

Les variétés *bidens* et *inflata* sont rencontrées plus rarement, aussi à l'état isolé, dans les mêmes conditions que l'espèce.

110. *Eunotia septentrionalis* (E SEPT)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-7.5	4.5-6.5	Na^+ (ppm)	0.8-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-16	0.1-8	K^+ (ppm)	0-3.2	indéterminé
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	(10-20)
Ca^{++} (ppm)	0.6-10	2.5-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-3.5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-3.2	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	1-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0.1-2	0.1-1	temp. (°C)	0.1-16	(0.1-4)

- acidophile
- dystrophe à oligotrophe
- pour nos stations non polluées : optimum pour des eaux peu minéralisées (conductivité de 20 à 50 μS/cm)
- saproxène

L'optimum pour le pH de 4.5 à 6.5 est assez large. Une préférence peu marquée a été observée pour des eaux froides (0.1 à 4° C).
Ces données concordent très bien avec celles de la littérature.

115. *Eunotia tenella* (E TENE)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	3.3-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-32	0.1-8	K^+ (ppm)	0-3.2	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	1.5-60	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	indéterminé	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-5	indéterminé	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.01
Al (ppm)	0-1.1	indéterminé	O_2 (% de sat)	65-105	(85-105)
Cl^- (ppm)	2-32	(16-32)	cond. (μS/cm à 25°C)	20-210	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	indéterminé	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- acidophile
- oligotrophe
- pour nos stations non polluées : plus souvent en présence de teneurs en sulfates assez élevées (optimum de 15 à 30 ppm)
- saprophobe.

Dans nos prélèvements, ce taxon est manifestement toujours peu abondant mais très répandu avec une autoécologie très large et des optimums de développement peu marqués ou inexistants. Il est d'ailleurs cosmopolite d'après HUSTEDT (1943). L'optimum pour le pH correspond à celui de CHOLNOKY (1968).

116. *Eunotia tridentula* var. *perminuta* (E TRID P)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	4.5-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-6	(1.5-3)
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	0.1-8	K^+ (ppm)	0-3.2	0.2-0.4
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	(1.5)3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	1.2-2.5
Ca^{++} (ppm)	0.6-20	1.2-2.5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-5	0.5-20	NO_2^- (ppb-N)	0-5	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	(0.4-0.8)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	(0)0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	(85-105)
Cl^- (ppm)	1-16	4-8	cond. (μS/cm à 25°C)	20-140	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0.1-2	0.1-1	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- acidophile
- oligotrophe
- pour nos stations non polluées : dans les eaux peu minéralisées (optimum de 20 à 50 μS/cm), pauvres en sulfates, nitrates et calcium
- saprophobe.

Toujours à l'état isolé, il caractérise des eaux oligotrophes et très peu minéralisées comme le signalent également PATRICK & REIMER (1966). Nos observations rejoignent celles de la littérature.

124. *Fragilaria capucina* var. *lanceolata* (FRA CAP)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	(1.5-3)
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	4-16	K^+ (ppm)	0-3.2	0.2-0.4
SO_4^{--} (ppm)	0-30	(1.5-7.5)	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++}(ppm)	1.2-20	2.5-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	0-15
Mg^{++}(ppm)	0.5-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	(0-0.2)
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1(0.3)	O_2 (% de sat)	65-105	(85-105)
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	20-90
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	0.1-1	temp. (°C)	4-20	(12-16)

- neutrophile
- oligo-(à mésotrophe)
- pour les stations non polluées : surtout abondant dans les eaux de types chimiques 6 (intermédiaire et légèrement acide) et 8 (neutre à tendance acide), peu minéralisées et pauvres en nitrates
- saprophobe
- préférence peu marquée pour des températures élevées (12 à 16° C).

Ce taxon est souvent en compagnie d'*Achnanthes minutissima* qui a cependant une amplitude écologique nettement plus large. Notamment, *Fragilaria capucina* apparaît à partir d'un pH d'environ 6.2 et régresse vite quand la minéralisation dépasse 1 méq/l alors que *Achnanthes minutissima* peut se développer exceptionnellement en eaux acides et reste abondant dans les eaux plus riches.
CHOLNOKY (1968) situe plus haut l'optimum pour le pH (7.4 à 7.8) et PATRICK & REIMER (1966) le disent faiblement alcaliphile.
HUSTEDT (1930) le décrit comme taxon planctonique dans des lacs eutrophes.
SLÁDEČEK (1973) le considère comme oligo- bêtamésosaprobe.
De telles divergences cachent sans doute un problème de détermination.

127. *Fragilaria construens* var. *venter* (FRA CO V)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	(3-6)
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	8-32	K^+ (ppm)	0.2-6.4	1.6-6.4
SO_4^{--}(ppm)	1.5-30	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	10-20
Ca^{++}(ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---}(ppb-P)	0-300	indéterminé
Mg^{++}(ppm)	0.5-6.5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	(5-10)
Fe (ppm)	0-1.6(et3.2-6.4)	(3.2-6.4)	NH_4^+ (ppm-N)	0-1.6	indéterminé
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-125	65-85
Cl^- (ppm)	4-16	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	90-140
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	1-2	temp. (°C)	0.1-24	20-24

- neutrophile
- mésotrophe
- dans nos stations non polluées : eaux de type chimique 10 (neutre) à minéralisation élevée (conductivité optimale : 90 à 140 µS/cm)
- indifférent
- préférence pour des températures élevées (20 - 24° C).

Parmi nos stations, ce taxon est abondant à la 165 (Ulf: 24 % d'abondance relative) et beaucoup moins abondant à la 188 (Tröglichterbach), toutes deux prospectées une seule fois. Il est en fait plus régulièrement observé dans des milieux plus ou moins pollués (optimum pour 65 à 85 % de saturation en O_2), plus minéralisés (notamment plus riches en calcium, magnésium, potassium et chlorures), avec une alcalinité assez élevée. PATRICK & REIMER le qualifient de oligo-mésotrophe.

133. *Fragilaria rumpens* (FRA RUM)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	3-24	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-128	16-32(64)	K^+ (ppm)	0.4-6.4	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-60	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	2.5-40	5-20	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	15-150
Mg^{++} (ppm)	0.5-8	2-5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	(20-80)
Fe (ppm)	0.1-1.6	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	65-85
Cl^- (ppm)	4-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	20-320	140-320
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	(1-2)	temp. (°C)	4-24	(16-20)

- neutrophile
- mésotrophe (à eutrophe)
- dans nos stations non polluées, il est surtout compté en petit nombre dans le type chimique 10 (eaux neutres assez minéralisées, notamment à la station 67 : Holzwarche).
- saproxène à tendance saprophile (optimum pour des teneurs en phosphates de 15 à 150 ppb-P et en nitrites de 20 à 80 ppb-N)
- préférence peu marquée pour des températures élevées (16 à 20° C).

Pour nos stations de référence, il caractérise, en petit nombre, l'assemblage III. 9 que l'on trouve dans des eaux mésotrophes.
A l'échelle des 841 relevés, on peut dire que ce taxon préfère les eaux très minéralisées (optimum pour la conductivité de 140 à 320 µS/cm) en relation avec des teneurs élevées en calcium, chlorures, sodium et magnésium, avec une alcalinité élevée (optimum pour 16 à 32, voire même jusqu'à 64 ppm $CaCO_3$).
De plus, ce taxon apparaît nettement saproxène voire même saprophile puisqu'il s'accomode de teneurs assez élevées en phosphates et nitrites, ce qui est en contradiction avec DESCY (1979) qui le considère comme sensible à la pollution.

134. *Fragilaria vaucheriae* var. *vaucheriae* (FRA VA)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5(8.5)	Na^+ (ppm)	3-24	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-64	8-32	K^+ (ppm)	0.4-6.4	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	2-5	NO_2^- (ppb-N)	0-160	(80-160)
Fe (ppm)	0-1.6	(0.2-0.4)	NH_4^+ (ppm-N)	0-1.6	(0.8-1.6)
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-210	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-5	indéterminé	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- neutrophile (à tendance alcaliphile)
- mésotrophe (à eutrophe)
- pour nos stations non polluées, il est surtout compté en petit nombre dans le type chimique 10 (eaux neutres assez minéralisées)
- indifférent à saproxène ?

Comme pour le taxon précédent, ce taxon atteint son développement le plus important dans les stations de référence les plus minéralisées c'est-à-dire dans l'assemblage III.9. Mais pour l'ensemble des données on le rencontre plus souvent et en plus grand nombre dans les eaux modérément polluées comme l'indique l'optimum observé pour l'ammoniaque et les nitrites. Vis à vis de la pollution, nos conclusions s'accordent avec celles de HUSTEDT (1957) pour qui ce taxon est saproxène mais s'écartent de celles de DESCY (1979) qui le considère comme étant sensible et de LANGE-BERTALOT (1979) comme étant très résistant.

136. *Fragilaria virescens* var. *virescens* (FRA VI)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	4.5-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-32	0.1-8	K^+ (ppm)	0-3.2	(0.2-0.4)
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	0.6-20	1.2-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	(0.1-0.2)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	(85-100)
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0-3	indéterminé	temp. (°C)	4-20	indéterminé

- acidophile à neutrophile
- oligotrophe
- pour nos stations non polluées : de préférence dans les eaux de type chimique 6, intermédiaires légèrement acides, peu minéralisée (conductivité optimale : de 20 à 50 µS/cm). Le relevé le plus riche (26 % d'abondance relative) est celui de la station 168, prospectée une seule fois appartenant au type chimique 4
- saproxène

Ces conclusions sont en accord avec la littérature. Ce taxon caractérise bien notre assemblage II.7.

137. *Fragilaria virescens* var. *elliptica* (FRA VI E)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-24	(3-6)
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	(4)8-32	K^+ (ppm)	0.2-6.4	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	(3)7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	15-30(75)
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-160	5-10
Fe (ppm)	0-3.2	0.4-0.8	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.5	0-0.1(0.3)	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	90-140
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	2-3	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- neutrophile
- mésotrophe
- pour nos stations non polluées : eaux assez minéralisées (conductivité optimale de 90 à 140 µS/cm), avec des teneurs plus élevées en sulfates, chlorures, calcium, magnésium et potassium que pour *Fragilaria virescens*
- saproxène
- dans le territoire étudié l'autoécologie de cette variété est bien différente de celle de l'espèce notamment par sa préférence pour les eaux plus minéralisées (pratiquement l'optimum pour tous les éléments minéraux se trouve une ou deux classes plus haut que pour l'espèce) et son caractère saproxène. Pourtant la majorité des auteurs s'accordent à lui donner la même écologie que l'espèce.

140. *Frustulia rhomboides* var. *rhomboides* (FRU R)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	1.5-3
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-16	0.1-8	K^+ (ppm)	0-1.6	0.4-0.8
SO_4^{--} (ppm)	1.5-15	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	2.5-5
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	2.5-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-3.2	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0.1-2	0.1-1	temp. (°C)	4-16	4-8

- acidophile
- oligotrophe à dystrophe
- pour nos stations non polluées : eaux assez minéralisées (conductivité optimale de 50 à 90 µS/cm) avec une préférence pour des teneurs plus élevées en calcium et chlorures que la variété *saxonica*
- saprophobe
- préférence marquée pour des eaux fraîches (4 à 8°C)

Ce taxon est le plus souvent observé à l'état isolé. C'est un acidophile assez régulièrement présent dans l'assemblage II.8 d'eaux neutres à tendance acide, assez pauvres en sulfates alors que SCHOEMAN (1973) le cite dans des eaux riches en acide sulfurique issu de mines. Pour le reste, nos conclusions rejoignent celles de la littérature.

141. *Frustulia rhomboides* var. *Saxonica* (FRU R SA)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-7.5	(4.5)5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	1.5-3
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-16	0-4(8)	K^+ (ppm)	0-1.6	(0)0.2-0.4
SO_4^{--} (ppm)	1.5-60	(7.5-15)	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	(10-20)
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-2.5(5)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-3.5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-3.2	0.8-1.6	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.2	0-0.1
Al (ppm)	0-0.9	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	85-125	(85-105)
Cl^- (ppm)	1-16	2-4	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0-2	0.1-1	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- acidophile (à tendance acidobionte)
- oligotrophe à dystrophe
- pour nos stations non polluées : surtout dans les eaux de type chimique 4 (station 30:Scheidbach; 39 : Roer), intermédiaires acides, peu minéralisées (conductivité optimale de 20 à 50 µS/cm), plus pauvres en calcium et en chlorures mais plus riches en sulfates que pour *Frustulia rhomboides*.
  En plus, ce taxon montre une préférence marquée pour des teneurs élevées en fer
- saprophobe

L'autoécologie de cette variété, qui peut être assez abondante, diffère de celle de l'espèce par une acidophilie plus prononcée, sa préférence pour des eaux moins minéralisées, riches en fer et en acides humiques (optimum d' oxydabilité de 10 à 20 mg/l O_2) et par son indifférence vis-à-vis de la température. Ces observations sont vérifiées par la littérature.
Les variétés *capitata* et *crassinervia* sont recensées dans les mêmes milieux alors que la variété *amphipleuroides* plutôt neutrophile caractérise les eaux mésotrophes, particulièrement celles du bassin de l'our.

145. *Frustulia vulgaris* var. *vulgaris* (FRU VU)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	5.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-24	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-32	8-16	K^+ (ppm)	0.2-3.2	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	2.5-5
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	(2.5-5)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	15-75
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-40	5-10(20)
Fe (ppm)	0.1-1.6	0.4-0.8	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3(et0.5-0.7)	0.1-0.3 et 0.5-0.7	O_2 (% de sat)	65-125	(65-85)
Cl^- (ppm)	2-32	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	50-210	(50-90)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	indéterminé	temp. (°C)	4-20	4-8

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- pour nos stations non polluées : surtout dans les eaux neutres de types chimiques 9 et 10, assez minéralisées (conductivité optimale : 50 à 90 µS/cm)
- saproxène à saprophile
- préférentiellement dans des eaux fraîches (optimum de 4 à 8°C)

Le pH optimum donné par CHOLNOKY, 1968 (7.5 à 8) est plus élevé que le nôtre. Dans notre typologie de référence, il est noté surtout dans les assemblages II.8 et III.9 mais il est rarement compté. Sa préférence pour les pollutions modérées, comme l'indiquent les teneurs optimales en phosphates, nitrites et ammoniaque, nous amène à le considérer comme un saproxène à tendance saprophile. Comme SALDEN (1978), nous le considérons donc comme un bon indicateur de faibles pollutions et non comme un taxon sensible (d'après DESCY, 1979).

148. *Gomphonema acuminatum* var. *acuminatum* (GO ACU)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	8-16	K^+ (ppm)	0.2-6.4	indéterminé
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	indéterminé	oxyd. (ppm-O2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	2.5-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	(0-0.1 et 0.2-0.4)
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1(0.3)	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	(50-90)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	indéterminé	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- pour nos stations non polluées : dans les eaux de types chimiques 8, 9 et 10, neutres ou neutres à tendance acide
- indifférent

Le caractère assez sporadique des observations concernant ce taxon explique sans doute l'absence d'optimum pour beaucoup de paramètres. Néanmoins ces observations sont nettement limitées à nos assemblages II.8 et III.9.
Comme nous, SALDEN (1978) situe entre 7.1 et 7.4 l'optimum de pH alors que CHOLNOKY (1968) donne un optimum plus élevé (8 ou plus).
La variété *trigonocephalum* et sa forme *acuminatoides* sont plus rares mais s'observent dans les mêmes milieux.

151. *Gomphonema angustatum* var. *angustatum* (GO ANG)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	indéterminé
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	8-16	K^+ (ppm)	0.2-6.4	0.4-0.8
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	1.5-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	(1.2-2.5)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	(0-5)
Fe (ppm)	0-6.4	0-0.1	NH_4^+ (ppm-N)	0-1.6	(0-0.1)
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	(50-90)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	(1-2)	temp. (°C)	4-24	indéterminé

152. *Gomphonema angustatum* var. *productum* (GO ANG P)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	indéterminé
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	4-8(et 16-32)	K^+ (ppm)	0.2-6.4	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-40	indéterminé
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.2-0.4
Al (ppm)	0-0.5	0-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-2	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- pour nos stations non polluées surtout dans les eaux neutres de types chimiques 8, 9 et 10, plus ou moins minéralisées
- saprophobe ou indifférent

L'autoécologie de ces 2 taxons est peu différente, assez large avec des optimum peu marqués pour plusieurs paramètres. On notera entre autre l'indifférence de la variété *productum* et dans une moindre mesure celle l' espèce pour les paramètres indicateurs de pollution (phosphates, nitrites et ammoniaque). Nous les condidérons plutôt comme de mauvais indicateurs et non comme des taxons sensibles à la pollution (DESCY, 1979).

155. *Gomphonema clevei* (GO CLEV)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	6.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-6	1.5-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	8-16(32)	K^+ (ppm)	0.2-1.6	0.2-0.4 et 0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	0-7.5	0-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-5	2.5-5
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-0.8	0-0.1(0.2)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.2	0-0.1
Al (ppm)	0-0.1	0-0.1	O_2 (% de sat)	85-105	85-105
Cl^- (ppm)	2-8	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-90	(20)50-90
NO_3^- (ppm-N)	0.1-2	1-2	temp. (°C)	0.1-20	16-20

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- dans nos stations non polluées : dans les eaux de type chimique 10, neutres et moyennement minéralisées (conductivité optimale : 50-90 µS/cm) avec des teneurs en magnésium plus élevées que dans les autres types

(optimum : 2 à 3.5 ppm Mg^{++}) et des teneurs en sulfates faibles. Principalement observé dans la vallée de l'Our aux stations 191 (Triesbach), 98 (Kleinweberbach) et 91 (Kolvenderbach) ainsi qu'à la source de l'Amblève (station 111)

- saprophobe
- préférentiellement dans des eaux de température élevée (16 à 20°C)

Ce taxon présente des spectres écologiques très compacts en relation avec sa distribution limitée à quelques stations situées surtout dans le bassin de l'Our caractérisé par un climat plus clément. Précisément l'optimum est bien marqué pour les températures estivales (16 à 20°C). On peut se demander si cette particularité autoécologique et la répartition très localisée de ce taxon dans le territoire étudié n'explique pas sa répartition mondiale jusqu'à présent focalisée dans les régions chaudes d'Afrique, d'Asie et d'Indonésie (une mention récente cependant a été faite en Irlande (FOGED, 1977). Nos observations seront d'autant plus utiles que l'écologie de ce taxon est encore peu connue.

157. *Gomphonema gracile* (GO GRAC)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-16	0.1-8(16)	K^+ (ppm)	0.2-3.2	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	indéterminé	oxyd. (ppm-O2)	0.1-20	1.2-2.5
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	2.5-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	0-0.1	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.5	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	(65-85)
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0-2	0-0.1	temp. (°C)	4-20	8-12

- acidophile
- oligotrophe à dystrophe
- dans nos stations non polluées : en eaux peu minéralisées (conductivité optimale de 20 à 50 µS/cm)
- saprophobe
- préférentiellement en eaux fraîches (de 8 à 12°C)

Ce taxon, souvent associé à SU ROBA, caractérise surtout notre assemblage II.7, mais n'est jamais abondant. D'après nos observations, il est nettement acidophile, mais, dans la littérature, tous les comportements vis à vis du pH sont cités : acidophile (GERMAIN, 1981), neutrophile (VAN DAM, 1981), indifférent à alcaliphile (LOWE, 1974).

159. *Gomphonema longiceps* var. *subclavatum* (GO LON S)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	1.5-3
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	(0.1)4-8	K^+ (ppm)	0.2-6.4	0.4-0.8
SO_4^{--} (ppm)	0-30	0-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	1.2-2.5
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	1.2-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-80	indéterminé
Fe (ppm)	0-1.6	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1(0.3)	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	0.1-1	temp. (°C)	0.1-24	4-8

- acidophile (tendance neutrophile)
- oligotrophe
- pour nos stations, types chimiques 8 à 11, neutres à tendance acide ou basique, de préférence dans les moins minéralisées (conductivité optimale : 20-50 µS/cm)
- saproxène
- préférence pour les eaux fraîches (4 à 8°C)

Trop sporadiquement trouvé dans les différents types d'eaux neutres, son autoécologie est donnée à titre indicatif. Elle ne correspond pas à celle de la littérature : beaucoup le considèrent en effet comme un alcaliphile d'eau calcaire eutrophe. Comme DESCY (1979) nous le considérons sensible à la pollution et à ce titre il constitue un bon élément pour caractériser nos assemblages II.8 et III.9.

161. *Gomphonema olivaceoides* (GO OLIV)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	6.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	3-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	4-8(16)	K^+ (ppm)	0.4-32	0.8-1.6(3.2)
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	0-0.1
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	2.5-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5(5)	NO_2^- (ppb-N)	0-160	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	0.4-0.8	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.5	0-0.1	O_2 (% de sat)	85-105	85-105
Cl^- (ppm)	2-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	1-3	temp. (°C)	0.1-12	4-8

- neutrophile
- mésotrophe
- pour les stations non polluées: dans les mêmes types d'eau que *Gomphonema clevei* et réparti dans les mêmes stations.
- saproxène
- préférentiellement dans les eaux fraîches (4 à 8 °C)

Ce taxon a une autoécologie proche de celle de *Gomphonema clevei* mais, alors que celui-ci préfère les eaux chaudes (optimum entre 16 et 20 °C), *Gomphonema olivaceoides* préfère les eaux fraîches (4 à 8 °C). Cette observation rejoint celle de DESCY (1983) qui le mentionne dans les eaux froides (moins de 10 °C) mais à un pH légèrement inférieur (entre 6 et 7). Comme nous, DESCY (1979) et GERMAIN (1981) le rencontrent dans des eaux non polluées.

162. *Gomphonema parvulum* (GO PARV)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-24	indéterminé
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-128	(4-16)	K^+ (ppm)	0-6.4	indéterminé
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-40	indéterminé	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	(2-3.5)	NO_2^- (ppb-N)	0-80	indéterminé
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	indéterminé
Al (ppm)	0-0.3	indéterminé	O_2 (% de sat)	85-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	(8-16)	cond. (µS/cm à 25°C)	20-320	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-2	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- indifférent à neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- dans nos stations non polluées, il se développe dans les types chimiques 6 à 11 c'est-à-dire dans des eaux intermédiaires légèrement acides ou neutres à tendance basique
- indifférent aux phosphates

Parmi tous les taxons que nous avons étudiés, *Gomphonema parvulum* est assurément celui qui présente l'autoécologie la plus large et la moins caractérisée. En dehors de sa tendance neutrophile assez nette, il est en effet indifférent vis-à-vis de tous les autres paramètres. Le caractère très euryèce de ce taxon ressort d'ailleurs de notre syn-

thèse bibliographique. Il présente donc peu d'intérêt dans notre typologie si ce n'est pour caractériser les eaux neutres à légèrement acides dans leur ensemble et on ne peut l'utiliser comme un taxon indicateur de la qualité de l'eau.

163. *Gomphonema truncatum* (GO TRU)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	(5.5)6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	4-8 et 16-32	K^+ (ppm)	0.4-3.2	(0.4)0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	0-30	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	(0-15)
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	0-5
Fe (ppm)	0-0.8	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	(0)0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	8-16	cond. (μS/cm à 25°C)	20-210	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	1-2	temp. (°C)	0.1-16	indéterminé

- indifférent à neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- dans nos stations non polluées : dans des eaux de types chimiques 8 à 10, neutres, moyennement minéralisées (de 50 à 90 µS/cm), notamment assez riches en calcium (optimum de 5 à 10 ppm), en magnésium (optimum de 2 à 3.5 ppm) et en chlorures(de 8 à 16 ppm).
- saproxène

C'est un taxon toujours rencontré à l'état isolé dans nos eaux neutres, principalement non polluées qui correspondent à nos assemblages II.8 et III.9.
L'optimum de pH est situé plus haut (environ 8) par CHOLNOKY (1968) et SALDEN (1978). Nous nous associons aux avis de GERMAIN (1981) DESCY (1979) et LANGE-BERTALOT (1979) qui le considèrent sensible à la pollution.

167. *Hannaea arcus* var. *arcus* (HANN A)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	1.5-3
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	4-16	K^+ (ppm)	0.2-3.2	0.2-0.8
SO_4^{--} (ppm)	1.5-15	(1.5)3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	2.5-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	0.4-0.8	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.2	0-0.1
Al (ppm)	0-0.5	0-0.1	O_2 (% de sat)	85-125	(85-105)
Cl^- (ppm)	2-16	(2)4-8	cond. (μS/cm à 25°C)	20-140	20-50(90)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	(1-2)	temp. (°C)	4-20	12-16

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- pour les stations non polluées : dans les eaux de types chimiques 8 à 10, neutres et peu minéralisées (conductivité optimale de 20 à 50 µS/cm), pauvres en sulfates notamment. Développement important aux stations 20 et 154 (Schwalm) et 47 (Bullingerbach)
- saproxène
- préférentiellement dans des eaux chaudes (12 à 16°C)

Ce taxon est très caractéristique des assemblages II.8 et III.9. Il est abondant dans le bassin de la Roer et plus rare dans le bassin de l'Our. Son développement est clairement lié aux eaux chaudes estivales, ce qui est en contradiction avec le caractrère montagnard cité par HUSTEDT (1930) et d'autres auteurs et avec la préférence pour les eaux froides citées par PATRICK & REIMER (1966). De plus,

plusieurs auteurs (dont LJUBICA & STOJANOV, 1975) le citent en association avec *Hydrurus foetidus* dans des ruisseaux de montagne. Or dans le territoire étudié, *Hannaea arcus* est abondant en l'absence de cette algue jaune et rare dans les stations 121 et 122 (Rechterbach) où cette algue est pourtant très développée aux mois de mars et d'avril. D'autres contradictions sont encore à remarquer : GERMAIN (1981) le cite comme acidophile et il est même alcaliphile (alcalibionte) d'après HUSTEDT (1957). Toujours selon la même source il est considéré comme saproxène par HUSTEDT mais comme oligosaprobe par PIERRE (1965).

168. *Hannaea arcus* var. *amphioxys* (HANN A A)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	3-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-64	4-8(16)	K^+ (ppm)	0.2-3.2	0.4-0.8
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	1.5-3(7.5)	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	2.5-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-30	15-30(75)
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-160	40-80
Fe (ppm)	0.1-1.6	0.4-0.8	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	2-4	cond. (µS/cm à 25°C)	50-210	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	indéterminé	temp. (°C)	4-24	12-16

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- pour nos stations non polluées : observé dans les eaux de types chimiques 8 à 10, plus minéralisées que pour l'espèce (conductivité optimale de 50 à 90 µS/cm)
- saproxène à tendance saprophile
- préférentiellement dans des eaux chaudes (12 à 16°C)

Cette variété, bien différente morphologiquement de l'espèce type, est beaucoup plus rare et est peu fréquemment comptée dans nos eaux non polluées. Elle a, vis-à-vis des paramètres de minéralisation et de la température la même autoécologie mais il est surprenant de constater qu'elle remplace rapidement l'espèce en cas de pollution organique. Sa tendance saprophile est donc assez nette dans le territoire étudié. Il semble qu'aucun auteur n'ait constaté cette différence de comportement pourtant fondamentale et très accusée et DESCY (1979) considère même la variété comme un taxon sensible à la pollution.

169. *Hantzschia amphioxys* f. *amphioxys* (HANT A)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	4.5-8.5	(5.5-7.5)	Na^+ (ppm)	3-12	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	(0.1)8-16	K^+ (ppm)	0.4-6.4	0.8-3.2
SO_4^{--} (ppm)	3-30	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	(2)3.5-5	NO_2^- (ppb-N)	0-160	indéterminé
Fe (ppm)	0-1.6	0.1-0.2	NH_4^+ (ppm-N)	0-1.6	0.2-0.4
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	4-32	8-32	cond. (µS/cm à 25°C)	50-210	90-140
NO_3^- (ppm-N)	0.1-5	(1-2)4-5	temp. (°C)	4-20	indéterminé

- indifférent
- oligo- à mésotrophe
- pour nos stations non polluées: dans des eaux assez minéralisées (conductivité optimale : 90 à 140 µS/cm), riches en calcium, magnésium, sodium, chlorures et nitrates

- saproxène

Ces conclusions correspondent au caractère très euryèce, notamment vis-à-vis de la pollution, qui ressort de notre synthèse bibliographique.

170. *Hantzschia amphioxys* f. *capitata* (HANT A C)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-8.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-32	0.1-8	K^+ (ppm)	0.2-6.4	indéterminé
SO_4^{--} (ppm)	0-60	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	0.6-20	(5-10)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-30	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-5	indéterminé	NO_2^- (ppb-N)	0-160	0-5(+80-160?)
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.5	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-105	85-105
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-2	temp. (°C)	4-24	indéterminé

- acidophile à neutrophile
- oligotrophe
- pour nos stations non polluées : indifférent vis-à-vis de la minéralisation, souvent dans des eaux moins chargées en sodium, chlorures et nitrates que l'espèce.
- saprophobe

Voici encore un exemple de différence d'autoécologie entre l'espèce type et sa variété, l'une indifférente ou résistante à la pollution, l'autre plus étroitement liée à des eaux pures, légèrement acides. La littérature ne donne pas d'indication sur cette différence autoécologique: pour la majorité des auteurs, la variété a les mêmes exigences que l'espèce.

173. *Melosira italica* (MEL ITA)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	4.5-8.5	(6.5)7.5-8.5	Na^+ (ppm)	3- 48	12-24
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-128	16-32	K^+ (ppm)	0.4-6.4	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0.1-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	2.5- 40	5-20	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	15-30
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	(2)3.5-5	NO_2^- (ppb-N)	0-160	40-60
Fe (ppm)	0.1-3.2	(0.1-0.2)	NH_4^+ (ppm-N)	0- 6.4	0.4-0.8
Al (ppm)	0-0.9	(0-0.3)	O_2 (% de sat)	5-105	(65-85)
Cl^- (ppm)	4-32(64)	8-32	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320(510)	140-210(320)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	(1)2-3(4)	temp. (°C)	0.1-20	(16-20)

- neutrophile à alcaliphile
- mésotrophe
- pour nos stations non polluées : eaux très minéralisées, riches en sulfates, calcium, magnésium, sodium, potassium et chlorures.
- saprophile

Ce taxon est rare dans nos stations de référence. Nos conclusions concordent bien avec celles de la littérature, notamment avec celles de DESCY (1979) pour qui c'est un taxon résistant à la pollution. La présence de 5 individus (soit 1 % de l'abondance relative) à la station 165 (Ulf) indique une eutrophisation légère de cette rivière.

174. *Melosira varians* (MEL VAR)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	Na^{+} (ppm)	3-24	(6-12)
alc. (ppm-$CaCO_3$)	8-128	32-64	K^{+} (ppm)	0.8-12.8	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	3-30	7.5-30	oxyd. (ppm-O_2)	0.1-10	2.5-5
Ca^{++} (ppm)	2.5-40	indéterminé	PO_4^{---} (ppb-P)	0-1200	75-150
Mg^{++} (ppm)	2-8	(3.5-8)	NO_2^- (ppb-N)	5-80	5-10
Fe (ppm)	0-0.8	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	0-0.1
Al (ppm)	0-0.5	(0)0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	65-85
Cl^- (ppm)	4-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	(140-320)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	1-2(3)	temp. (°C)	4-16	8-12

- neutro- à alcaliphile
- méso- à eutrophe
- pour nos stations non polluées : normalement dans des eaux très minéralisées (conductivité optimale de 140 à 320 µS/cm), riches en sulfates, bicarbonates, magnésium, sodium, potassium et chlorures. Compté seulement dans le Köderbach (station 157) où il représente jusqu'à 2,7 % d'abondance relative.
- saprobionte

Comme le taxon précédent, il est très rare dans nos stations de référence et sa présence à la station 157 résulte d'une eutrophisation faible mais continue de cette rivière.
A l'échelle des 841 prélèvements (y compris ceux des eaux polluées et calcaires) il apparaît comme un taxon d'eaux eutrophes et polluées, à tendance nettement saprophile, ce qui correspond à la conception généralement admise dans la littérature.

175. *Meridion circulare* var. *circulare* (MER CI)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^{+} (ppm)	3-12	(3)6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-128	8-16	K^{+} (ppm)	0.8-6.4	(0.8)1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	3-30	(7.5-15)	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	0-0.1
Ca^{++} (ppm)	5-40	5-10(20)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	30-75
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	10-20
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.5	0-0.1(0.3)	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	4-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	90-140
NO_3^- (ppm-N)	0.1-5	3-4	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- indifférent à neutrophile
- mésotrophe
- pour nos stations non polluées : observé dans des eaux assez minéralisées (conductivité optimale : 90 à 140 µS/cm) avec des teneurs élevées en calcium, magnésium, sodium et chlorures.
- saproxène à tendance saprophile

Certains auteurs (HUSTEDT, 1957; CHOLNOKY, 1968) le rangent plutôt parmi les alcaliphiles. Dans notre travail, nous avons rarement rencontré ce taxon dans les eaux propres et plus souvent, parfois en quantité importante, dans des eaux plus riches et plus ou moins souillées. Les optimum pour les phosphates et nitrites semblent indiquer une tendance à la saprophilie ou en tout cas une certaine résistance à la pollution organique. La majorité des auteurs le considère comme saproxène et seul DESCY (1979) le qualifie de très sensible à la pollution.

176. *Meridion circulare* var. *constrictum* (MER CI C)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	4.5-8.5	5.5-6.5(7.5)	Na^+ (ppm)	1.5-12	indéterminé
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	(0.1)4-8	K^+ (ppm)	0-3.2	indéterminé
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	(5-10)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-20	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	(0-0.1)
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	(8-16)	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-3	temp. (°C)	0.1-16	4-8

- acidophile à neutrophile
- oligotrophe
- saproxène

En dehors du pH et de l'alcalinité, ce taxon ne montre pas d'optimum bien marqué pour les autres paramètres. Son autoécologie est manifestement plus large que celle de l'espèce type neutre à légèrement acide. Il est plus répandu que *Meridion circulare* dans les eaux propres que nous avons étudiées mais y reste très peu abondant et dispersé. D'après nos observations, il semble donc qu'il y ait des différences entre l'autoécologie de ces 2 taxons mais elles sont peu importantes et la littérature n'en fait pas mention.

179. *Navicula angusta* (NA ANGU)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	4.5-7.5	5.5-6.5(7.5)	Na^+ (ppm)	1.5-6	1.5-3
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-16	(0.1)4-8	K^+ (ppm)	0-1.6	0.2-0.4 et 0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	1.5-15	1.5-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0.1-1.6	0.2-0.8	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	indéterminé
Al (ppm)	0-0.3	0-0.3	O_2 (% de sat)	85-105	85-105
Cl^- (ppm)	2-16	2-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0.1-2	0.1-1	temp. (°C)	4-16	indéterminé

- acidophile (à neutrophile)
- oligotrophe
- pour nos stations non polluées : dans les eaux de types chimiques 6 (intermédiaires légèrement acides), 8 et 9 (neutres à tendance acide et neutres), peu minéralisées (conductivité optimale : 20-50 µS/cm), pauvres en sulfates, calcium, magnésium, sodium.
- saproxène

C'est un taxon très caractéristique de nos assemblages II.7 et 8, remarquables par leur oligotrophie. L'écologie tirée de nos observations concorde très bien avec celle de la littérature. Seul GERMAIN (1981) le dit peu sensible à une pollution modérée.

187. *Navicula cincta* (NA CINC)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	4.5-8.5	(5.5-6.5)	Na^+ (ppm)	3-12	(3-12)
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-128	0.1-4(8)	K^+ (ppm)	0.4-3.2	0.4-1.6
SO_4^{--} (ppm)	3-30	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-5	0-0.1(1.2)
Ca^{++} (ppm)	2.5-40	2.5-5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-150	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	indéterminé
Fe (ppm)	0-1.6	0-0.2	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	0-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	4-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0-3	1-2	temp. (°C)	4-20	8-12

- indifférent (tendance acidophile)
- oligotrophe
- pour nos stations non polluées : observé dans les eaux de types chimiques 6 et 7, intermédiaires légèrement acides, assez minéralisées (conductivité optimale de 50 à 90 µS/cm)
- indifférent à la pollution
- nette préférence pour les eaux fraîches (8 à 12°C)

C'est un taxon très sporadique, notamment dans des eaux plus ou moins polluées mais que nous avons noté régulièrement dans notre assemblage II.6, qui correspond à une légère altération, repérable par la présence de différents taxons indicateurs d'eutrophisation ou de pollution (*Nitzschia archibaldii*, *Pinnularia brebissonii* var. *diminuta*). Notre échantillon est sans doute insuffisant car pour tous les auteurs consultés c'est un alcaliphile méso- à eutrophe et très résistant à la pollution. D'autre part, la plupart de nos observations ont été faites dans des eaux fraîches.

191. *Navicula cryptocephala* var. *cryptocephala* (NA CRY)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-48	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-128	(8-128)	K^+ (ppm)	0.2-12.8	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-40	10-20	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	(75-600)
Mg^{++} (ppm)	0.5-8	(2-3.5)	NO_2^- (ppb-N)	0-160	10-40
Fe (ppm)	0-3.2	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-3.2	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	0-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	(65-85)
Cl^- (ppm)	2-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	20-320	140-320
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	1-2	temp. (°C)	4-24	indéterminé

- neutrophile
- mésotrophe
- pour nos stations non polluées, il est surtout noté dans des eaux moyennement minéralisées mais pour l'ensemble des prélèvements; son optimum se situe dans des eaux très minéralisées (conductivité optimale de 140 à 320 µS/cm), riches en calcium, sodium, potassium et chlorures.
- saproxène à saprophile

Trouvé en petit nombre et de façon normale dans notre assemblage III.9, d'eaux mésotrophe, il peut se développer davantage en présence de pollution et dans des eaux très minéralisées. Nos conclusions s'accordent bien avec la littérature et certains auteurs (HUSTEDT, 1957; CHOLNOKY, 1968) en font même un alcaliphile.

204. *Navicula gregaria* (NA GREG)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	Na^+ (ppm)	3-24	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-128	16-32(128)	K^+ (ppm)	0.4-6.4	1.6-3.2(6.4)
SO_4^{--} (ppm)	3-30	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	2.5-40	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	30-300
Mg^{++} (ppm)	0.5-8	(2)3.5-5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	20-40(80)
Fe (ppm)	0-1.6	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	indéterminé
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	(65-85)
Cl^- (ppm)	4-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	90-320
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	(1)2-3	temp. (°C)	0.1-24	(20-24)

- neutrophile à alcaliphile
- méso-(à eutrophe)
- pour nos stations non polluées, quelques observations dans des eaux de types chimiques 10 et 11, neutres à tendance basique
- saprophile

Nous donnons ici l'autoécologie de ce taxon parce qu'il a été trouvé régulièrement dans l'assemblage III.10 aux stations 111 (Amblève) et 157 (Köderbach) et qu'il apporte la preuve, avec d'autres taxons (*Achnanthes lanceolata, Navicula minima*, ...) que cet assemblage est un faciès d'altération du précédent.
Son caractère saprophile est confirmé par la littérature.

210. *Navicula lanceolata* (NA LANC)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	6.5-8.5	(6.5)7.5-8.5	Na^+ (ppm)	3-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-128	8-32(et64-128)	K^+ (ppm)	0.8-6.4	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	3-30	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	(0-1.2)
Ca^{++} (ppm)	2.5-40	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	30-75
Mg^{++} (ppm)	2-6.5	3.5-5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	5-10
Fe (ppm)	0.1-1.6	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	0-0.1
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	4-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	(90-140)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	2-3(4)	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- (neutrophile) alcaliphile
- méso- à eutrophe
- pour nos stations non polluées : dans des eaux assez minéralisées (conductivité optimale : 90 à 140 µS/cm), riches en calcium, magnésium et chlorures.
- tendance saprophile

Parmi nos stations de référence, ce taxon a la même distribution que le précédent (*Navicula gregaria*) et sa présence reflète aussi une eutrophisation ou une pollution.

214. *Navicula minima* (NA MINI)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	3-48	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-128	16-64	K^+ (ppm)	0.4-12.8	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	3-60	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	C.1-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-1200	(75)300-600(1200)
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	3.5-5	NO_2^- (ppb-N)	0-160	40-80
Fe (ppm)	0.1-1.6	0.4-0.8	NH_4^+ (ppm-N)	0-3.2	0.2-0.4(3.2)
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1(0.3)	O_2 (% de sat)	45-125	65-85
Cl^- (ppm)	4-16	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	(90-140)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	2-3(4)	temp. (°C)	4-24	indéterminé

- neutrophile
- méso- à eutrophe
- dans nos stations non polluées : eaux assez minéralisées (conductivité optimale de 90 à 140 µS/cm), riches en calcium, magnésium, potassium et chlorures
- saprophile

Ce taxon apparaît comme un très bon indicateur de pollution. Dans notre typologie, nous le trouvons systématiquement avec un autre indicateur, *Nitzschia archibaldii* dans l'assemblage II.6 et surtout III.10 correspondant à des eaux dont nous avons déjà souligné l'altération. Beaucoup d'auteurs le considère plutôt comme alcaliphile et pour LANGE-BERTALOT (1979) c'est une des espèces les plus résistantesà la pollution.

235. *Navicula quadripunctata* (NA QUAD)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	4.5-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6(12)
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	0.1-4	K^+ (ppm)	0.2-12.8	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	3-60	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	(5-10)
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-150	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-10	(0-5)
Fe (ppm)	0-1.6	0.8-1.6	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.7	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	105-125
Cl^- (ppm)	2-16	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-210	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	(1-2)	temp. (°C)	0.1-24	8-12

- acidophile
- oligotrophe (à dystrophe)
- saproxène
- préférence pour des températures fraîches (optimum de 8 à 12°C).

Nous avons toujours trouvé ce taxon à l'état isolé, dans des eaux plutôt acides, avec des teneurs élevées en sulfates et en calcium. En dehors de l'observation de HUSTEDT (1962) dans des lacs acides du Nord de l'Allemagne, on ne dispose d'aucun renseignement quant à l'écologie de ce taxon.

236. *Navicula radiosa* var. *radiosa* (NA RAD)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	6.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	8-64	16-64	K^+ (ppm)	0.4-6.4	0.8-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0.1-10	0.1-1.2(2.5)
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-30	15-30
Mg^{++} (ppm)	2-6.5	3.5-5	NO_2^- (ppb-N)	0-10	5-10
Fe (ppm)	0-0.8	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	(0-0.1)
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	50-210	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	0.1-1	temp. (°C)	4-24	16-20

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- pour nos stations non polluées : dans les eaux de types chimiques 10 et 11, neutres, assez minéralisées (conductivité optimale : 50 à 90 µS/cm) avec des teneurs élevées en calcium, magnésium, sodium et bicarbonates.
- saproxène
- préférence pour des eaux chaudes (optimum de 16 à 20°C)

Ce taxon caractérise bien les stations de l'Our dans notre système de référence (assemblage III.9) mais il n'y est jamais abondant (quelques individus comptés aux stations 91, 98, 88, 89 et 191). Il indique le niveau de minéralisation plus élevé correspondant à cet assemblage. Nous pensons, comme GERMAIN (1981) qu'il est peu sensible à une pollution modérée. (D'après nos observations, la variété *tenella* semble être légèrement acidophile et très oligotrophe et saprophobe alors que GERMAIN (1936) la dit abondante dans les milieux calcaires.

240. *Navicula rhynchocephala* (NA RHYN)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	(8)16-32	K^+ (ppm)	0-6.4	(0.8)1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	1.5-60	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	(2.5-5)
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	(10)20-40
Fe (ppm)	0.1-1.6	(0.4-1.6)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	(8-16)	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	90-140
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-2	temp. (°C)	4-24	(16-24)

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- pour nos stations non polluées: observées dans les eaux des types chimiques 9 à 11, assez minéralisées(conductivité optimale : 90-140 µS/cm), notamment riches en calcium, magnésium, sodium, potassium et chlorures.
- saproxène, indifférent aux phosphates

Dans notre typologie, ce taxon est peu abondant mais régulièrement observé dans les assemblages II.8 et III.9-10. Comme le taxon précédent, il indique un niveau de minéralisation plus élevé. Son compor-

tement vis-à-vis de la pollution est variable suivant les auteurs : nous le considérons comme saproxène alors qu'il est bêtamésosaprobe pour SALDEN (1978), alphamésosaprobe pour SLÁDEČEK (1973), sensible à la pollution pour DESCY (1979) et très sensible pour LANGE-BERTALOT (1979).

271. *Nitzschia acidoclinata* (NI ACID)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	(6.5)7.5-8.5	Na^+ (ppm)	3-24	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	(8)32-64	K^+ (ppm)	0.4-6.4	(1.6)3.2-6.4
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	5-20	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	15-300
Mg^{++} (ppm)	0.5-8	3.5-5	NO_2^- (ppb-N)	0-160	5-10
Fe (ppm)	0-1.6	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	indéterminé
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	105-125
Cl^- (ppm)	4-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	90-210
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-3	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- neutrophile à alcaliphile
- mésotrophe
- pour nos stations non polluées : observés dans les eaux très minéralisées (conductivité optimale de 90 à 210 µS/cm), riches en calcium, magnésium, sodium, potassium et chlorures.
- saprophile

Ce taxon est régulièrement noté dans nos assemblages III.9 et 10 mais toujours à l'état isolé. Il n'atteint jamais un développement important dans nos stations de référence qui ne sont pas polluées et suffisamment minéralisées.
Notre détermination peut être mise en doute quand on compare ces observations avec celles de LANGE-BERTALOT (1976) qui a décrit cette espèce dans des eaux non polluées, à un pH inférieur à la neutralité et qui pense qu'elle évite probablement la pollution à cause de l'augmentation de pH qu'elle entraîne.

275. *Nitzschia archibaldii* (NI ARCH)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	3-48	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-128	16-64	K^+ (ppm)	0.4-6.4	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	3-30	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0.1-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	(5)10-20	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	(30)75-150(600)
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	2-5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	20-80
Fe (ppm)	0-3.2	(0.2-0.4)	NH_4^+ (ppm-N)	0-1.6	(0.1-0.2)
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	45-105	65-85
Cl^- (ppm)	4-32	8-16(32)	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	(90)140-210(320)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-3	temp. (°C)	4-24	16-20

- neutrophile
- mésotrophe
- pour nos stations non polluées : observé dans des eaux très minéralisées (conductivité optimale : 140-210 µS/cm), riches en calcium, magnésium, sodium, potassium et chlorures

- saprophile

Nous trouvons régulièrement ce taxon dans les assemblages II.6 et III. 9 et 10, plus particulièrement dans les rivières qui traversent des prairies amendées. Dans ce cas, il indique la présence d'une eutrophisation faible mais continue. Par contre, dans une station du même assemblage (91 par exemple) mais dont le bassin versant est préservé, *Nitzschia archibaldii* reste tout à fait occasionnel . L'étude de toutes les stations prospectées montre qu'il s'agit en fait d'un taxon nettement saprophile. Pour LANGE-BERTALOT (1980) qui l'a décrit, il supporte une faible pollution organique. En dehors de cette indication son écologie est peu connue.

277. *Nitzschia dissipata* (NI DISS)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5(8.5)	Na^+ (ppm)	3-24	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-64	16-64	K^+ (ppm)	0.2-6.4	1.6-6.4
SO_4^{--} (ppm)	8-30	3-15	oxyd. (ppm-O2)	0-10	0.1-1.2
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	10-20	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	30-75(et 300-600)
Mg^{++} (ppm)	0.5-8	3.5-5(6.5)	NO_2^- (ppb-N)	0-80	5-10
Fe (ppm)	0-1.6	0.8-1.6	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.5	(0)0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	105-125
Cl^- (ppm)	2-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	140-210
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-2 et 3-4	temp. (°C)	4-24	indéterminé

- neutrophile
- mésotrophe
- pour nos stations non polluées : observés dans des eaux très minéralisées (conductivité optimale : 140 à 210 µS/cm), riches en calcaire, magnésium, sodium et potassium
- tendance saprophile

Dans nos stations de référence, ce taxon est toujours occasionnel et limité à l'assemblage III.9 sans doute parce qu'il correspond à des eaux un peu plus minéralisées que dans les autres stations.
Beaucoup d'auteurs le rangent avec les alcaliphiles ou les alcalibiontes, très sensibles à la pollution. Dès lors notre conclusion (tendance saprophile) rejoint une remarque que nous avons déjà signalé précédemment : dans les milieux oligotrophes à mésotrophes ce taxon indique une eutrophisation ou une pollution modérée alors qu'en milieux calcaires, il caractérise des eaux propres.

285. *Nitzschia linearis* (NI LINE)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	6.5-8.5	7.5-8.5	Na^+ (ppm)	3-24	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	8-128	(16)32-64(128)	K^+ (ppm)	0.4-6.4	1.6-3.2
SO_4^{--} (ppm)	3-30	(7.5-15)	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	0.1-1.2
Ca^{++} (ppm)	2.5-40	5-40	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	75-300
Mg^{++} (ppm)	2-8	3.5-(6.5)	NO_2^- (ppb-N)	0-80	10-20(80)
Fe (ppm)	0-1.6	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	65-85
Cl^- (ppm)	2-16	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	140-320
NO_3^- (ppm-N)	0-4	1-2	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- neutrophile
- mésotrophe
- pour nos stations non polluées : dans les eaux très minéralisées (conductivité optimale : de 140 à 320 µS/cm), riches en calcium et magnésium
- saproxène (à saprophile ?)

C'est un taxon d'eau riche plus ou moins souillée qui est toujours occasionnel surtout dans l'assemblage III.9 et 10. Dans ce cas, il indique un milieu un peu plus mésotrophe. Mais, dans la région étudiée, sa présence en quantité plus importante est liée à une pollution ou à une eutrophisation plus forte (tendance saprophile).
Vis-à-vis de la pollution tous les comportements sont possibles d'après la littérature : ce taxon supporte un excès de matières organiques (GERMAIN, 1981), est oligo- à bêtamésosaprobe (SLÁDEČEK, 1973; SALDEN, 1978), sensible à la pollution (DESCY, 1979) et même très sensible (LANGE-BERTALOT , 1979) !

290. *Nitzschia recta* (NI RECT)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5(8.5)	Na^+ (ppm)	1.5-1.2	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-64	(4)8-16	K^+ (ppm)	0.2-6.4	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	3-15	oxyd. (ppm-O2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	(0-15)
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	indéterminé	NO_2^- (ppb-N)	0-40	5-10
Fe (ppm)	0-3.2	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	85-105	85-105
Cl^- (ppm)	2-16	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	20-320	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	1-2	temp. (°C)	4-20	indéterminé

- neutrophile
- oligo- à mésotrophe
- saprophobe

Parmi nos stations de référence, ce taxon a une répartition systématiquement et strictement limitée aux eaux neutres à légèrement acides et il n'est jamais abondant. Nous le considérons comme un taxon caractéristique des assemblages II.7 et 8 et III.9 et 10.
Pour CHOLNOKY (1968), c'est un alcaliphile (pH optimum entre 8,2 et 8,8 !) alors que GERMAIN (1981) le rencontre, comme nous, exceptionnellement dans des milieux tourbeux. D'après nos observations, il est très sensible à la pollution, ce qui correspond à l'avis de plusieurs auteurs (LANGE-BERTALOT , 1979; DESCY, 1979).

304. *Pinnularia appendiculata* var. *irrorata* (P APPE I)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	3.3-7.5	(3.3-4.5)5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-6	1.5-3
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-16	0-4	K^+ (ppm)	0-3.2	0-0.2(0.4)
SO_4^{--} (ppm)	0-60	(30-60)	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	5-10
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-2.5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-30	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-3.5	0-0.5	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.5	0.3-0.5	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	1-32	2-4	cond. (µS/cm à 25°C)	0-140	(20-90)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-3	0.1-1	temp. (°C)	0.1-20	4-8

- (acidobionte) acidophile
- dystrophe à oligotrophe
- pour nos stations non polluées : dans des eaux moyennement minéralisées (conductivité optimale de 20 à 90 µS/cm), riches en sulfates mais pauvres en calcium, magnésium, sodium et chlorures.
- saprophobe
- préférence pour les eaux froides (optimum de 4 à 8°C)

Ce petit *Pinnularia* d'eau froide est toujours rencontré à l'état isolé dans nos prélèvements sauf à la station 23 (Ru de la Baraque) en juin 1976 où il atteint 3 % d'abondance relative : c'est à cette valeur que correspond l'optimum de pH entre 3,3 et 4,5. La plupart des autres mentions proviennent d'eaux légèrement acides et peu minéralisées. Son écologie est peu connue : CHOLNOKY (1968) cite l'optimum de pH à 6 et HUSTEDT (1957) le considère comme saproxène.

306. *Pinnularia biceps* f. *minutissima* (P BICE M)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-6.5	3.3-4.5	Na^+ (ppm)	1.5-6	1.5-3
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-4	0-0.1	K^+ (ppm)	0-1.6	0-0.2
SO_4^{--} (ppm)	3-60	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0.1-20	5-10
Ca^{++} (ppm)	1.2-10	1.2-2.5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-3.5	0-0.5	NO_2^- (ppb-N)	0-5	0-5
Fe (ppm)	0.2-1.6	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0.2-0.4
Al (ppm)	0.1-0.3(1.1)	0.3-0.5	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	2-4	cond. (µS/cm à 25°C)	20-140	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0-2	0.1-1	temp. (°C)	0.1-12	4-8

- acidobionte
- dystrophe
- pour les stations non polluées: dans des eaux moyennement minéralisées assez riches en sulfates mais très pauvres en calcium, et magnésium
- saproxène
- préférentiellement dans des eaux froides (optimum de 4 à 8°C).

Ce taxon est l'un des plus acidobiontes que nous ayons rencontré. Il est aussi très nettement saprophobe. Il est toujours occasionnel sauf à la station 23 en juin 1976 (Ru de la Baraque : 5 % d'abondance relative). Pour ces raisons, sa distribution est strictement limitée aux assemblages acidophiles I.1 à I.5.
HUSTEDT (1957) considère qu'il a la même écologie que l'espèce (c'est-à-dire neutrophile et saproxène) alors que CHOLNOKY (1968) pense qu'il est beaucoup plus acidophile.

307. *Pinnularia borealis* (P BORE)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	3.3-8.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-32	1-2	K^+ (ppm)	0.2-3.2	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	1.5-60	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-40	(10-20)
Fe (ppm)	0-1.6	(0.1-0.2)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-0.9	(0-0.3)	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	(90-140)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-2	temp. (°C)	4-20	indéterminé

- acidophile (tendance neutrophile)
- oligotrophe
- dans nos stations non polluées : large tolérance pour la minéralisation de l'eau
- indifférent aux phosphates

C'est un taxon d'assez large répartition, avec cependant, une préférence pour les eaux légèrement acides. Nous n'avons pas enregistré de préférence pour une gamme de température particulière bien que dans la littérature, on considère généralement que c'est un taxon d'eau froide (PATRICK & REIMER, 1966), nordique (CLEVE-EULER, 1955), montagnard (HUSTEDT, 1930).
En fait d'une façon générale, nos observations sont isolées et nous amènent à considérer que ce taxon est plus euryèce qu'il n'y paraît dans la littérature.

310. *Pinnularia brebissonii* var. *diminuta* (P BREB D)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	4.5-7.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	3-12	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	0.1-8	K^+ (ppm)	0.4-3.2	(0.4)0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	3-60	7.5-30	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	0-0.1
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	(10-20)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-150	30-75
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	2-3.5(5)	NO_2^- (ppb-N)	0-40	indéterminé
Fe (ppm)	0-64	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-1.6	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	4-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	50-210	(140-210)
NO_3^- (ppm-N)	0-3	0-0.1 et 1-2	temp. (°C)	4-20	8-12

- indifférent (tendance neutrophile)
- oligo- à mésotrophe
- pour nos stations non polluées: d'eaux assez minéralisées (optimum peu marqué pour une conductivité de 140 à 210 µS/cm), surtout riches en sulfates et calcium
- saproxène
- préférence pour les eaux fraîches (8 à 12°C)

La distribution de ce taxon est assez limitée aux eaux acides légèrement polluées ou eutrophisées. Dans notre typologie de référence, il est compté uniquement dans l'assemblage II.6. Ceci nous conduit à considérer que cet assemblage correspond à des eaux légèrement altérées comme nous l'avons déjà signalé dans les commentaires relatifs à *Nitzschia archibaldii* et *Navicula minima*.

L'écologie est mal connue: certains dont HUSTEDT (1957) considèrent qu'elle est identique à celle de l'espèce type alors que GERMAIN (1981) trouve la variété dans des milieux très différents en eaux non polluées.

325. *Pinnularia hilseana* (P HILS)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	3.3 -7.5	4.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-32	0.1-4	K^+ (ppm)	0-3.2	indéterminé
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	0.6-20	indéterminé	PO_4^{---} (ppb-P)	0-75	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-80	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-3.2	0.2-0.4
Al (ppm)	0-1.1	indéterminé	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	(2-4)	cond. (μS/cm à 25°C)	20-210	20-50(90)
NO_3^- (ppm-N)	0-3	0-0.1	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- acidophile
- dystrophe à oligotrophe
- pour nos stations non polluées: dans des eaux peu minéralisées (conductivité optimale de 20 à 50 μS/cm), surtout des types chimiques 3-4, acides et intermédiaires acides, pauvres en magnésium et chlorures mais riches en sulfates. Très abondant à la station 168 (ruisseau de Bennevi : 21 % d'abondance relative)
- saproxène

Ce taxon est noté dans tous les types d'eau mais peut se développer davantage au point de caractériser l'assemblage I.5, avec *Achnanthes austriaca* var. *helvetica*. Nos conclusions écologiques concordent avec celles de la littérature.

332. *Pinnularia microstauron* (P MICR)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-7.5	4.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-16	(0)0.1-4 (8)	K^+ (ppm)	0-3.2	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	3-60	15-30(60)	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	0-0.1
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	(5-10)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-5	(0.5-2)	NO_2^- (ppb-N)	0-80	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	(0.1-0.2)	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	0-0.1
Al (ppm)	0-1.1	(0.5-0.9)	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	(8-16)	cond. (μS/cm à 25°C)	20-210	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0-2	(0-0.1)	temp. (°C)	4-20	indéterminé

- acidophile
- dystrophe à oligotrophe
- pour nos stations non polluées: dans tous les niveaux de minéralisation (conductivité optimale de 20 à 210 μS/cm), dans des eaux riches en sulfates
- saproxène

Mis à part son caractère acidobionte à acidophile et saprophobe bien établi, ce taxon est très euryèce pour les éléments minéraux et il est rare et régulièrement distribué dans tous nos assemblages alors que quelques individus sont dénombrés dans l'assemblage acidophile II.6. La littérature confirme que son amplitude écologique est large (PATRICK & REIMER, 1966). L'optimum de pH (4.3 à 6.5) donné par VAN DER WERF &

HULS (1957-1974) correspond parfaitement au nôtre.

346. *Pinnularia subcapitata* (P SUBC)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	3.3-8.5	4.5-6.5	Na^{+} (ppm)	1.5-24	indéterminé
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-64	0.1-4	K^{+} (ppm)	0.2-6.4	indéterminé
SO_4^{--} (ppm)	3-60	15-30(60)	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	indéterminé	PO_4^{---} (ppb-P)	0-600	15-30
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	(2-3.5)	NO_2^- (ppb-N)	0-160	indéterminé
Fe (ppm)	0.1-3.2	0.2-0.4	NH_4^+ (ppm-N)	0-6.4	0.2-0.4 et 1.6-3.2
Al (ppm)	0-1.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	45-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	1-32	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	20-320	50-90
NO_3^- (ppm-N)	0-3	0-0.1	temp. (°C)	0.1-20	indéterminé

- acidophile
- oligotrophe
- pour nos stations non polluées, eaux assez minéralisées (conductivité optimale de 50 à 90 µS/cm), surtout en raison des teneurs élevées en sulfates
- saproxène (avec une préférence pour des teneurs moyennes à élevées en ammoniaque)

Dans notre typologie c'est un taxon peu intéressant tout comme *Eunotia tenella* et *Pinnularia microstauron* car il est distribué dans tous les assemblages. Il était jadis réuni avec *Pinnularia hilseana* qui n'en était qu'une variété. Il ressort de nos résultats que ces deux taxons ont une écologie différente : *P. hilseana* est saprophobe, sensible à la pollution alors que *P. subcapitata* est saproxène, peut-être même assez résistant à la pollution, si l'on en juge d'après l'optimum pour l'ammoniaque. C'est en fait un bon indicateur d'eau acide, modérément polluée. Ces conclusions correspondent à celles de HUSTEDT (1957), pour qui c'est un taxon saproxène et de SLÁDEČEK (1973) pour qui il est oligo-saprobe mais s'opposent à celles de DESCY (1979) qui le classe parmi les taxons très sensibles à la pollution.

348. *Pinnularia sudetica* (P SUDE)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-8.5	5.5-6.5	Na^{+} (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-64	0.1-8	K^{+} (ppm)	0-3.2	indéterminé
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	15-30	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	(2-3.5)	NO_2^- (ppb-N)	0-40	indéterminé
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.2	indéterminé
Al (ppm)	0-0.7	0.1-0.3 et 0.5-0.7	O_2 (% de sat)	65-125	(105-125)
Cl^- (ppm)	2-16	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0-3	1-2	temp. (°C)	0.1-24	indéterminé

- acidophile à neutrophile
- oligotrophe
- pour nos stations non polluées, indifférent au niveau de minéralisation (conductivité de 20 à 210 µS/cm), teneurs élevées en sulfates et calcium.
- indifférent aux matières organiques.

L'abscence d'optimum déterminé pour la plupart des paramètres montre le degré d'euryécie de ce taxon. On relèvera seulement son acidophilie et sa préférence pour les teneurs en sulfates élevées. En faible quantité,

comme c'est habituellement le cas dans nos prélèvements, ce taxon est donc sans intérêt tant pour caractériser un assemblage naturel que pour détecter une pollution ou une eutrophisation. HUSTEDT (1943) vient confirmer cette idée en la mentionnant dans des eaux acides à alcalines !

381. *Surirella angusta* (SU ANGU)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	4.5-8.5	(6.5-8.5)	Na^+ (ppm)	3-24	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-64	(8-32)	K^+ (ppm)	0.4-6.4	0.8-3.2
SO_4^{--} (ppm)	3-30	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	30-75
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	indéterminé	NO_2^- (ppb-N)	0-80	(10-80)
Fe (ppm)	0.1-1.6	0.1-0.2	NH_4^+ (ppm-N)	0-1.6	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.5	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	4-32	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	90-140
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-2	temp. (°C)	4-24	16-20

- indifférent (tendance neutrophile)
- oligo- à mésotrophe
- pour nos stations non polluées, en eau assez minéralisée (conductivité optimale de 90 à 140 µS/cm), riche en calcium, sodium et chlorures
- saproxène (à tendance saprophile)

Le caractère euryèce de ce taxon provient de sa distribution dans tous les milieux neutres à légèrement acides mais toujours en très petit nombre dans les eaux non polluées. L'intégration de nombreux relevés en eaux polluées lors de la construction des spectres met en évidence son caractère saproxène à tendance saprophile. D'autres auteurs vont plus loin et le considèrent comme saprophyte (HUSTEDT, 1957) assez résistant à la pollution (DESCY, 1979).

389. *Surirella ovata* (SU OVA)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-8.5	6.5-7.5(8.5)	Na^+ (ppm)	3-12	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-128	(4)8-16	K^+ (ppm)	0.2-6.4	0.8-1.6(3.2)
SO_4^{--} (ppm)	3-30	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	0-0.1
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	30-75
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	(2-3.5)	NO_2^- (ppb-N)	0-80	indéterminé
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	9-0.4	indéterminé
Al (ppm)	0-0?3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	(8-16)	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-2	temp. (°C)	0.1-24	16-20

- neutrophile (à alcaliphile)
- oligo- à mésotrophe
- pour nos stations non polluées: indifférent au niveau de minéralisation (conductivité de 50 à 320 µS/cm)
- saproxène à saprophile

Ce taxon est localisé dans les assemblages de référence II.6 et III.9-10 mais en très petit nombre. Il dénote sans doute d'une eau un peu plus riche, en contact avee des prairies amendées. C'est surtout dans les milieux modérément pollués qu'on le trouve en plus grande quantité. D'ailleurs, pour HUSTEDT (1957, c'est un saprophyte et pour DESCY (1979) et GERMAIN (1981), il est résistant à la pollution.

390. *Surirella ovata* var. *pinnata*

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	3.3-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	3-24	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-128	32-64	K^+ (ppm)	0-6.4	indéterminé
SO_4^{--} (ppm)	0-30	7.5-15	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	0-0.1
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	10-20	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	30-75
Mg^{++} (ppm)	0-6.5	3.5-5	NO_2^- (ppb-N)	0-80	indéterminé
Fe (ppm)	0-6.4	0-0.1	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	indéterminé
Al (ppm)	0-0.3	0-0.1	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	4-32	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	0-320	140-320
NO_3^- (ppm-N)	0-3	0-0.1	temp. (°C)	4-20	indéterminé

- indifférent
- oligo- à mésotrophe
- en général, dans des eaux très minéralisées (conductivité optimale de 140 à 320 µS/cm)
- saproxène à saprophile

Ce taxon a une autoécologie un peu différente de l'espèce: on le rencontre régulièrement à l'état isolé dans les eaux acides, plus riches en sulfates, mais aussi dans des eaux plus bicarbonatées, plus riches en calcium et en magnésium, à conductivité élevée. Il est également saproxène à saprophile. D'après nos données, il semble donc que la variété est beaucoup plus euryèce que l'espèce; pour la majorité des auteurs, elle a pourtant la même écologie.

395. *Surirella roba* (SU ROBA)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	5.5-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	3-6
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-16	(0.1)4-8	K^+ (ppm)	0-3.2	0.2-0.4
SO_4^{--} (ppm)	1.5-60	3-7.5	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	1.2-2.5(5)	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-10	0-5
Fe (ppm)	0-1.6	indéterminé	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.2	0-0.1
Al (ppm)	0-0.5	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	4-8	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0-3	(0-0.1)	temp. (°C)	4-16	indéterminé

- acidophile
- oligotrophe
- pour nos stations non polluées: d'eaux peu minéralisées (conductivité optimale de 20 à 50 µS/cm) des types chimiques 6 et 7 (intermédiaires légèrement acides). Développement important aux stations 130 (ru Hodial) et surtout 119 (Roba)
- saprophobe

Ce nouveau taxon a une écologie bien définie dans le territoire étudié, notamment vis à vis du pH. Pour tous les éléments minéraux, l'optimum se trouve dans les classes inférieures et le caractère saprophobe est très accusé. C'est dans les assemblages II.6 et 7 qu'il est le plus abondant. La description du taxon est récente (LECLERCQ, 1983) et il n'existe encore aucune autre indication écologique dans la littérature.

403. *Synedra ulna* var. *ulna* (SY ULN)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	5.5-8.5	6.5-7.5(8.5)	Na^+ (ppm)	3-24	(6-12)
alc. (ppm-$CaCO_3$)	4-64	8-16(32)	K^+ (ppm)	0.4-6.4	0.8-1.6(3.2)
SO_4^{--} (ppm)	0-30	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-10	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	2.5-20	indéterminé	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	indéterminé
Mg^{++} (ppm)	0.5-6.5	2-3.5	NO_2^- (ppb-N)	0-160	indéterminé
Fe (ppm)	0.1-1.6	((0.1-0.2)	NH_4^+ (ppm-N)	0-1.6	(0.1 -0.2)
Al (ppm)	0-0.3	(0-0.1)	O_2 (% de sat)	65-105	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-32	indéterminé	cond. (µS/cm à 25°C)	50-320	indéterminé
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	(1-2)	temp. (°C)	4-20	indéterminé

- neutrophile (à alcaliphile?)
- mésotrophe
- pour nos stations non polluées; indifférent au niveau de la minéralisation (conductivité de 50 à 320 µS/cm)
- indifférent aux phosphates et nitrites

Ce taxon est généralement très peu abondant dans nos stations de référence (assemblages II.8 et III.9 et 10). En dehors de son caractère neutrophile, méso- à eutrophe, ce taxon est très euryèce. On le rencontre dans toutes les eaux neutres quelle que soit leur minéralisation et leur état d'altération. On peut donc en conclure, comme DESCY (1979) et LANGE-BERTALOT (1979), qu'il est résistant à la pollution. Pour GERMAIN (1936) par contre, c'est un taxon d'eau propre. Sa présence en faible quantité dans nos stations de référence est donc tout à fait normale. Les variétés *amphyrhynchus*, *impressa* et *oxyrhynchus* ont été trouvées avec l'espèce.

408. *Tabellaria fenestrata* (TAB FEN)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH	3.3-8.5	6.5-7.5	Na^+ (ppm)	1.5-12	6-12
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0-64	(4-32)	K^+ (ppm)	0-6.4	0.8-1.6
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	indéterminé	oxyd. (ppm-O_2)	0-20	indéterminé
Ca^{++} (ppm)	1.2-20	5-10	PO_4^{---} (ppb-P)	0-300	30-75
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	indéterminé	NO_2^- (ppb-N)	0-80	5-10
Fe (ppm)	0.1-1.6	0.4-0.8	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.8	0.1-0.2
Al (ppm)	0-0.3	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-125	indéterminé
Cl^- (ppm)	2-16	8-16	cond. (µS/cm à 25°C)	20-210	(90-140)
NO_3^- (ppm-N)	0.1-4	1-2	temp. (°C)	0.1-24	(4-8)

- indifférent
- oligo- à mésotrophe
- en eaux assez minéralisées(optimum de conductivité peu marqué, de 90 à 140 µS/cm), assez riches en calcium, sodium, potassium et chlorures.
- saproxène
- préférence peu marquée pour des eaux fraîches (4 à 8 °C)

Ce taxon semble assez euryèce. Son optimum de pH est peu marqué. Il semble préférer les eaux assez minéralisées et il a surtout une tendance saproxène assez nette, l'optimum pour les phosphates se situant entre 30 et 75 ppb-P. Ces observations rejoignent celles de BEYENS (1982) pour qui *T. fenestrata* est moins oligotrophe, moins acidophile et plus tolérant que *T. flocculosa*.

409. *Tabellaria flocculosa* (TAB FLO)

	limites d'observation	optimum		limites d'observation	optimum
pH (ppm)	4.5-7.5	5.5-6.5	Na^+ (ppm)	0.8-12	0.8-1.5(3)
alc. (ppm-$CaCO_3$)	0.1-32	(0.1)4-8	K^+ (ppm)	0-3.2	0-0.2(0.4)
SO_4^{--} (ppm)	1.5-30	(3-15)	oxyd. (ppm-O_2)	0-40	10-20
Ca^{++} (ppm)	1.5-10	1.2-2.5	PO_4^{---} (ppb-P)	0-15	0-15
Mg^{++} (ppm)	0.5-5	0.5-2	NO_2^- (ppb-N)	0-40	0-5
Fe (ppm)	0.1-1.6	0.8-1.6	NH_4^+ (ppm-N)	0-0.4	indéterminé
Al (ppm)	0-0.5	0.1-0.3	O_2 (% de sat)	65-105	(85-105)
Cl^- (ppm)	1-16	1-2	cond. (μS/cm à 25°C)	20-140	20-50
NO_3^- (ppm-N)	0-3	0.1-1	temp. (°C)	4-20	12-16

- acidophile
- dystrophe à oligotrophe
- pour nos stations non polluées: d'eau peu minéralisée (conductivité optimale de 20 à 50 μS/cm), peu chargée en calcium, magnésium, sodium, potassium et chlorures. Les plus beaux développements sont notés aux stations 167 (ruisseau de Houveigné) et 31 (ruisseau de la Schwarzes Venn)
- saproxène
- préférence pour les eaux chaudes (12 à 16 °C)

Ce taxon caractérise surtout l'assemblage II.7, plus particulièrement les stations 167 et 31, mais on le trouve aussi, en moindre abondance, dans les eaux neutres à tendance acide de l'assemblage II.8 et dans les eaux neutres du III.9. Le fait le plus marquant est son oligotrophie, liée à une minéralisation très faible, et son carcatère saprophobe. Nous pensons, comme DESCY (1979) qu'il est très sensible à la pollution alors que d'autres (HUSTEDT, 1957; LOWE, 1974) le disent saproxène. Son développement est surtout estival.
Cette caractérisation écologique diffère sensiblement de celle de *T. fenestrata*.

5.3.7.2. Auto-écologie des taxons rares et très rares (figure 49, hors texte)

Si les spectres écologiques que nous venons de présenter n'ont de signification que pour les taxons suffisamment abondants et fréquents, il est cependant possible de tirer des renseignements sur l'écologie des autres taxons en utilisant, comme nous l'avons dit plus haut (chapitre 5.3.5.6.) une figure synthétique issue d'un tableau de présence-absence (figure 49).

Pour obtenir cette figure, nous avons regroupé les taxons qui présentent des distributions semblables dans nos 72 stations de référence. Ces 72 stations sont données dans le même ordre que celui du tableau écologique moyen (tableau 71, hors texte) c'est-à-dire dans un ordre écologique correspondant, entre autre , à un pH croissant de haut en bas. On retrouve donc dans le tableau 49 la répartition de ces stations en 10 clusters numérotés et pour chacun de ces clusters, on dispose d'un tableau physico-chimique moyen pour les paramètres principaux (tableau 83). Une comparaison directe entre la distribution d'un taxon et les valeurs moyennes de certains paramètres physico-chimiques dans les clusters de stations concernées est ainsi rendue possible. Nous avons retenu 19 catégories de distribution pour les 357 taxons rencontrés au cours de notre travail (y compris les 82 taxons du chapitre précédent).

D'autre part, nous avons utilisé le nombre de stations où chaque taxon a été noté au moins une fois (= nombre de présence mis entre parenthèses après chaque nom de taxon) pour distinguer les taxons communs (généralement plus de 6 présences), rares (2 à 6 présences) et très rares (1 présence). La signification écologique de la présence d'un taxon dans une catégorie dépend en partie du nombre de présences par rapport au nombre total de stations dans la catégorie.

Nous avons également voulu donner, au niveau de cette figure, une idée du comportement des taxons vis-à-vis de la pollution, afin de bénéficier des indications relatives aux stations polluées étudiées par FABRI (1984). Pour ce faire, nous avons réparti les taxons en trois groupes, au sein de chaque catégorie en fonction du pourcentage cumulé des observations pour la première classe de phosphates (0 à 15 ppb-P) :

- groupe 1 : plus de 65 % des observations, ce qui correspond aux taxons saprophobes;
- groupe 2 : entre 45 et 65 % des observations, ce qui correspond aux taxons saproxènes;
- groupe 3 : moins de 45 % des observations, ce qui correspond aux taxons saprophiles.

Pour tirer des renseignements probants de ce tableau basé sur les présences-absences, l'inventaire floristique de chaque station doit être aussi complet que possible et il faut se rappeler que des événements aléatoires tels que le transport par les animaux ou le vent (WUTHRICH et MATTHEY, 1978) conduisant à la présence aberrante de taxons alcaliphiles dans des eaux acides par exemple, sont toujours possibles.

Par rapport aux pH moyens par cluster de stations (tableau 83), les 19 catégories peuvent être interprétées comme suit :

- catégorie 1 : acidobiontes à acidophiles (pH moyens de 3.9 à 6.2);
- catégories 2 à 4 : indifférents (pH moyens de 3.9 à 7.3);
- catégories 5 à 8 et 16 à 17 : acidophiles à neutrophiles (pH moyens de 4.8 à 7.3);
- catégories 9 à 10 : (quelques acidophiles) neutrophiles (pH moyens de 5.9 à 7.3);
- catégories 11 à 15 et 18 : neutrophiles (pH moyens de 6.2 à 7.3);
- catégorie 19 : regroupe des taxons plus rares observés une seule fois dans une seule station. Ce type d'observation pouvant revêtir un caractère fortuit, il est délicat d'en tirer une interprétation écologique, même si, dans certains cas, elle correspond aux données de la littérature qui sont d'ailleurs généralement sommaires, voire inexistantes, pour des taxons aussi rares.

CHAPITRE 6

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

L'objectif de ce travail était l'élaboration d'une typologie des peuplements de diatomées et de la composition chimique des eaux naturelles des rivières du nord du massif Ardennais.

A partir de 430 prélèvements d'eau et d'algues, nous avons établi :

- l'influence de chaque assise géologique sur la composition chimique des eaux qui y circulent;
- une typologie de référence pour la composition physico-chimique des eaux et pour les peuplements de diatomées dans 72 stations situées sur des rivières coulant sur une seule assise ou, successivement, sur plusieurs assises;
- l'importance des variations journalières et saisonnières de la physico-chimie des eaux et des variations saisonnières des peuplements et leur impact sur la typologie précitée;
- l'inventaire floristique très complet des diatomées des eaux courantes naturelles de cette région;
- l'auto-écologie des 82 taxons principaux dans le cadre de la région étudiée.

6.1. Physico-chimie des eaux

Les variations de la composition physico-chimique des eaux courantes dépendent de 3 facteurs principaux : le substrat (variations stationnelles), les cycles journaliers et les cycles saisonniers.

Les variations stationnelles, liées au substrat, sont les plus importantes. Pour des rivières coulant sur une seule assise géologique, les différents types d'eau sont répartis le long de l'échelle stratigraphique selon un gradient positif de pH et d'alcalinité et un gradient négatif de sulfates, ce qui constitue une situation extraordinaire, peut-être unique en Europe.

Cette typologie n'est pas complète pour la région étudiée puisque près de la moitié des rivières considérées traversent plusieurs assises et s'enrichissent plus ou moins au contact, même bref, avec des roches plus riches.

Pour intégrer les données concernant ces situations plus complexes, les valeurs moyennes annuelles des paramètres ont été calculées pour chaque station. Elles varient peu pour chacune d'elles et ont, de ce fait, une signification typologique élevée. De plus, elles intègrent l'effet des variations saisonnières. Après transformation de ces valeurs moyennes en classes par la méthode statistique des contrastes, il apparaît que les paramètres les plus discriminants sont, dans l'ordre d'importance, le pH, l'alcalinité, les sulfates, le calcium, le magnésium, le fer et l'aluminium.

Quatre types chimiques principaux sont caractérisés sur base du pH :

- le type acide (pH proche de 4);
- le type intermédiaire acide (pH proche de 5);
- le type intermédiaire légèrement acide (pH proche de 6);
- le type neutre (pH proche de 7).

Ces 4 types de base, différenciés par d'autres paramètres (alcalinité, sulfates, calcium, magnésium) permettent de décrire 11 types chimiques moyens étroitement corrélés à la situation géologique de la rivière en amont de la station de prélèvement (tableau 56, hors texte).

D'une manière générale, ces différents types d'eau sont acides à neutres, peu minéralisés, oligotrophes à mésotrophes. La productivité primaire y est faible puisque des valeurs supérieures à 1 mg de chlorophylle a/m^2/jour sont exceptionnelles.

Les variations journalières de la composition de l'eau sont très faibles, sauf pour la température, quel que soit le type d'eau considéré. On décèle une légère diminution du pH et de l'alcalinité pendant la nuit en milieu neutre à légèrement acide, mais ces variations restent toujours insignifiantes par rapport aux variations stationnelles et saisonnières.

Les variations saisonnières n'existent pratiquement pas dans les eaux les plus acides. Elles sont importantes dans les eaux neutres et surtout dans les eaux de type intermédiaire. Chaque année, pendant l'été, on note une augmentation sensible du pH, de l'alcalinité et du fer et une diminution des sulfates, de l'aluminium, des nitrates et du potassium. La minéralisation globale reste assez constante, sauf lorsque les débits sont très faibles: elle peut alors doubler par rapport à la valeur normale.

6.2. Flore et végétation de diatomées

6.2.1. Etude floristique

Pour obtenir une liste floristique quasiment exhaustive d'une station, il faut une vingtaine de prélèvements, échelonnés sur les différents mois de plusieurs années.

Dans les 430 échantillons traités, 357 taxons ont été identifiés. Ce nombre est élevé pour des eaux oligotrophes à mésotrophes. Trois taxons ont été nouvellement décrits (LECLERCQ, 1983) : *Surirella roba* Leclercq, *S. celtica* Germain var. *constricta* Leclercq et *Achnanthes rechtensis* Leclercq.

C'est pendant les périodes fraîches de transition entre le printemps et l'été et entre l'été et l'automne que la richesse floristique est la plus élevée.

6.2.2. Etude écologique des peuplements

Comme pour les paramètres physico-chimiques, et afin d'intégrer les variations saisonnières, les résultats des comptages ont servi au calcul d'un nombre moyen pour chaque taxon et dans chaque station.

Ces nombres moyens pour les taxons principaux ont été soumis à une analyse en composantes principales et au cluster analysis, analyses multivariées qui ont permis de les classer dans un tableau écologique moyen (tableau 71, hors texte) où apparaissent clairement 2 assemblages, 8 variantes trophiques, un faciès saisonnier et un faciès d'altération :

- l'assemblage à *Eunotia exigua*, subdivisé en 5 variantes et 1 faciès saisonnier;
- l'assemblage à *Fragilaria capucina* var. *lanceolata* et *Eunotia pectinalis* var. *minor*, subdivisé en 3 variantes et un faciès d'altération : cet assemblage est original et se situe entre l'association à *Eunotia exigua* et *Pinnularia subcapitata* SYMOENS 1957 et l'association à *Diatoma hiemale* et *Meridion circulare* (KURZ 1922) DENIS 1924.

La composition floristique de ces assemblages, variantes et faciès est complétée par un tableau synthétique de présence-absence (tableau 49, hors texte), parallèle au tableau écologique moyen et qui indique quels sont les taxons rares et très rares habituellement trouvés dans chacune des variantes.

L'écologie des assemblages et variantes est précisée à l'aide d'un tableau physico-chimique moyen (tableau 83).

Le tableau 89 (hors texte) reprend pour chaque station les résultats les plus importants concernant le type chimique moyen, l'alcalinité et le pH moyen,le contexte géologique, la variante trophique et les variations saisonnières, pour trois saisons (printemps, été et automne), de la température, du pH, de l'alcalinité et du peuplement de diatomées. Il s'agit en fait d'un tableau de la végétation algale potentielle pour les principales situations géologiques que l'on peut rencontrer dans la région prospectée.

A quelques exceptions près, une variante est limitée à (1) 2 (3) types chimiques moyens. Le classement des stations, obtenu par l'analyse en composantes principales sur les résultats des comptages, suit assez régulièrement un gradient de pH moyen et d'alcalinité moyenne. Ce résultat est dû à la sensibilité de réaction d'un taxon acidophile très important, *Eunotia exigua*, qui régresse au fur et à mesure que le pH augmente, et à son remplacement par deux taxons neutrophiles, *Achnanthes minutissima* et *Fragilaria capucina* var. *lanceolata*.

A partir du tableau 89 et des chiffres donnés dans le chapitre 5.3.5.3. (abondance relative moyenne pour chaque variante), nous allons résumer nos observations concernant les variantes et faciès des deux assemblages principaux.

Assemblage 1 à *Eunotia exigua*

Dans les eaux très acides (pH proche de 4), dont l'alcalinité est toujours nulle, et qui coulent sur les roches du Revinien 2, le peuplement est dominé par *Eunotia exigua* (E EXIG).

On distingue 2 variantes et un faciès saisonnier :

- Variante I.1 (E EXIG : 99 %) : sur Revinien 2, types chimiques moyens 1 (2);
- Variante I.3 (E EXIG : 86 %; E RHOM : 12 %) : sur Revinien 2; types chimiques 2 et 3, plus riches en sulfates et en calcium;
- Faciès I.2 (E EXIG : 91 %; A MINU : 5 %) : sur Revinien 2 en contact bref avec des roches plus riches (Revinien 3 et tonalite); types chimiques (1) 2 (3). C'est un faciès saisonnier de la variante I.1 qui a été détecté surtout grâce à l'étiage exceptionnel d'octobre 1976.

Lorsque les rivières, prenant leurs sources sur le Revinien 2, sont, en aval, en contact prolongé avec les roches du Revinien 3, du Salmien et du Siegenien 1, l'alcalinité, encore nulle pendant l'hiver, apparaît et augmente au cours de l'été; le pH est en moyenne plus élevé (5 à 6).

Il s'agit alors de types chimiques intermédiaires plus ou moins acides, caractérisés par des peuplements encore souvent dominés par E EXIG, mais où d'autres taxons acidophiles font leur apparition. Les variations saisonnières sont très importantes dans ces types intermédiaires.

On distingue 3 variantes :

- Variante I.4 (E EXIG : 66 %; E RHOM : 9 %; E CURV : 8 %; AN SER B : 7 %; FRU R SA : 1 %; TAB FLO : 1 %; FRA CAP : 4 %; A MINU : 1 %) : correspondant à la séquence Revinien 2-3 - Salmien et au type chimique moyen 4.
- Variante I.5 (E EXIG : 73 %; A AUST H : 15 %; P HILS : 3 %; E RHOM : 2 %,...) : pour la même séquence - types chimiques (2)3-4(5) mais plus minéralisés.
- Variante II.6 (E EXIG : 40 %; A MINU : 37 %; SU ROBA : 4 %; GO PARV et FRA CAP : 1 %; NI ARCH : 2 %, ...) : pour la même séquence, mais avec des trajets plus longs sur Revinien 3 et Salmien, parfois même exclusivement sur ces deux assises; types chimiques 6-7 intermédiaires légèrement acides (pH proche de 6), le 7 étant particulièrement minéralisé; le trajet plus long sur ces roches plus riches explique le pH plus élevé et le développement important du neutrophile A MINU; c'est une variante qui ressemble au faciès saisonnier I.2, mais pour laquelle on rencontre en même temps, pendant toute l'année, l'acidobionte E EXIG et le neutrophile FRA CAP; le développement de saprophiles (NI ARCH : 2 %; A LANC; NA MINI : 1 %) dans certaines stations indique qu'il s'agit sans doute de milieux acides légèrements altérés (présence de pâtures amendées) mais cette variante existe aussi à l'état naturel, sans ces taxons dans d'autres stations.

Assemblage 2 à *Fragilaria capucina* var. *lanceolata* et *Eunotia pectinalis* var. *minor*

Dans les eaux oligotrophes à mésotrophes, neutres à tendance acide ou neutres, coulant sur le Salmien ou le Dévonien inférieur (types chimiques 6 à 10), le peuplement est dominé par les neutrophiles A MINU et FRA CAP dont les proportions varient en fonction du type chimique et des saisons. On distingue 3 variantes trophiques et 1 faciès d'altération :

- Variante II.7 (E EXIG : 31 %; FRAC CAP : 17 %; A MINU : 16 %; SU ROBA et GO PARV : 6 %; TAB FLO : 4 %; A SAXO et E PECT M : 3 %; FRA VI : 2 %, ...) : cette variante correspond aux rivières dont les sources sont sur Salmien ou Siegenien 1 et dont les eaux sont encore assez acides en hiver et au printemps (type chimique 6) mais E EXIG ne représente plus que 31 % d'abondance relative moyenne alors que les taxons neutrophiles sont bien établis;
- Variante II.8 (A MINU : 44 %; FRA CAP : 32 %; HANN A : 6 %; E EXIG et GO PARV : 3 %, ...) : cette variante correspond surtout aux assises du Siegenien 2 et 3 et à des eaux neutres où l'alcalinité, bien que plus faible en hiver, n'est jamais nulle (types chimiques moyens 8 et 9); ces peuplements sont caractérisés par l'abondance de FRA CAP;
- Variante III.9 (A MINU : 40 %; FRA CAP : 12 %; CY MIN : 8 %, FRA VA : 6 %, GO PARV et DIA HI M : 5 %; HANN A : 2 %; E EXIG : 3 %, ...) : variante plus diversifiée, avec moins de FRA CAP; elle correspond à des eaux plus mésotrophes que celles de la variante précédente et coulant surtout sur les roches de l'Emsien 1 mais aussi sur celles plus riches, du Gedinnien; types chimiques moyens (9)-10(11);
- Faciès III.10 (A MINU : 38 %; CO PLA E : 10 %; CY MIN : 8 %; DIA HI M : 7 %; GO PARV : 4 %; GO OLIV : 3 %; NA LANC et CY SINU : 2 %; taxons saprophiles : A LANC, NA MINI : 3 %; NI ARCH, NA GREG, SU OVA : 1 %) : types chimiques 10-11, surtout sur les roches de l'Emsien 1 ; majeure partie des bassins versants occupée par des pâtures amendées; il s'agit d'un faciès d'altération des variantes II.8 et III.9 en raison de la présence de taxons saprophiles et de taxons calciphiles d'eau propre qui, normalement absents de ces eaux originellement mésotrophes, deviennent ici des indicateurs d'eutrophisation.

Le niveau trophique maximum des eaux courantes naturelles de la région étudiée se situe donc à la variante III.9, sur les roches de l'Emsien 1.

Les variations saisonnières de l'abondance relative des taxons ont été étudiées en détail à partir de prélèvements mensuels. D'une façon générale, les acidophiles diminuent et les neutrophiles augmentent du printemps à l'automne, parallèlement à une augmentation du pH et de l'alcalinité, mais cette évolution se fait à différents moments de l'année suivant le type chimique de l'eau : les neutrophiles apparaissent ou augmentent tardivement ou lors de périodes d'étiage prononcé dans le type intermédiaire acide et de plus en plus tôt dans les types intermédiaires légèrement acides et neutres à tendance acide.

Les résultats des comptages mensuels, présentés pour les taxons principaux sous forme d'un tableau synthétique par prélèvement (figures 62 à 86), montrent que la variante moyenne qui caractérise une station y est trouvée typiquement pendant une partie de l'année au moins, mais que l'on s'en écarte plus ou moins au cours des saisons, parallèlement à des variations de la composition physico-chimique de l'eau (diminution du pH et de l'alcalinité en hiver, au printemps et pendant les crues, augmentation de ces paramètres en été, en automne et pendant les périodes d'étiage).

Les variations mensuelles des peuplements sont nulles ou très faibles dans les eaux les plus acides (types chimiques 1 à 3). Elles sont importantes et suivent de très près les variations saisonnières de la composition physico-chimique de l'eau dans les autres types. Les variations les plus spectaculaires touchent les milieux de type intermédiaire qui glissent de l'assemblage à E EXIG en hiver, à l'assemblage à FRA CAP et E PECT M en été. L'envahissement de la zone supérieure droite du tableau 89 par des taxons neutrophiles montre bien que ce glissement s'effectue progressivement du printemps à l'automne.

6.2.3. Etude écologique des taxons principaux

Au travers des variations saisonnières de l'abondance relative des taxons, surtout dans les milieux de type intermédiaire, et à l'aide des nombreuses analyses physico-chimiques réalisées par FABRI (1984) dans les eaux polluées et par nous-même dans les eaux naturelles de la même région, nous avons pu préciser l'auto-écologie de 82 taxons caractéristiques de ces eaux oligo- à mésotrophes, dont certains étaient peu connus jusqu'à présent.

Pour certains taxons, la nécessité de relativiser la valeur indicatrice est apparue clairement : par exemple, dans nos milieux mésotrophes, l'apparition de certains taxons, habituellement considérés comme indicateurs d'eau calcaire propre, indique au contraire une altération.

6.3. Utilisation pratique de notre typologie

L'utilisation, dans les meilleures conditions, de notre typologie, basée sur des valeurs moyennes annuelles pour les paramètres physico-chimiques et pour l'abondance relative de chaque taxon, exige au moins 3 prélèvements (printemps, été et automne) dans chaque station.

Le tableau 58 permet de situer le type chimique moyen d'une station. A l'aide du tableau 71 et de la figure 49 (hors texte), on peut ensuite déterminer la variante trophique. Enfin, dans le tableau 89, on peut comparer l'évolution saisonnière du peuplement et vérifier la correspondance avec la situation géologique. Le travail de FABRI (1984) dans les eaux polluées montre que cette dernière phase est essentielle car un milieu, acide à l'origine, et neutre secondairement, en raison d'une eutrophisation, peut présenter un peuplement semblable aux variantes neutrophiles naturelles qui ne correspond plus à la végétation potentielle, mais qui est un faciès d'altération.

Quand on dispose d'un prélèvement unique, on pourra essayer de le situer dans les tableaux 73 à 77 construits de la même façon que le tableau écologique moyen (tableau 71), mais à partir des prélèvements bruts effectués en mars, juin et octobre 1976 et en avril, juillet et octobre 1977.

Enfin, en cas d'altération due à une pollution, la connaissance précise de la situation géologique en amont de la station de prélèvement constitue le meilleur moyen de déterminer la composition de la végétation potentielle pré-

sente avant la pollution et d'évaluer les moyens à mettre en oeuvre pour restaurer la rivière dans son état originel.

L'étude typologique et écologique que nous avons menée dans les rivières oligotrophes à mésotrophes drainant le nord du massif Ardennais, nous amène à formuler quelques réflexions :

1. ces milieux, malgré leur oligotrophie, s'avèrent très diversifiés : nous y avons déterminé 357 taxons différents et décrit pas moins de 8 variantes trophiques et un faciès saisonnier;
2. ces variantes correspondent à des contextes géologiques différents;
3. les variations saisonnières des peuplements sont importantes et dépendent de facteurs physico-chimiques et climatiques, ce qui les rend particulièrement complexes à interpréter, surtout dans les types d'eau intermédiaires (pH 5-6) où l'on peut passer d'une variante acidophile en hiver, à une variante neutrophile tout à fait différente, en été;
4. la présence de taxons indicateurs de pollution ou d'eutrophisation dans toutes les rivières traversant des pâtures, même sur de courtes distances, alors que la composition physico-chimique de l'eau se modifie très peu (légère augmentation des nitrates), montre l'extrême sensibilité de ces milieux oligo- à mésotrophes : un apport exogène faible de matières organiques, par exemple, y produit des modifications importantes dans les peuplements de diatomées (FABRI, 1984) alors que le même apport dans des eaux calcaires eutrophes n'aurait aucun effet.

Notre travail démontre la sensibilité de réaction des diatomées à des modifications naturelles, particulièrement faibles dans des eaux oligotrophes, des facteurs du milieu et à des altérations liées aux activités humaines. Ces algues sont donc de très bons indicateurs de la qualité d'une eau et la typologie réalisée à partir de ces organismes est très précise.

Mais cette sensibilité entraîne aussi la complexité des variations des peuplements en fonction de paramètres fixes (géologie) ou plus aléatoires (précipitations, température, physico-chimie des eaux). Il faut encore ajouter qu'en examinant les relevés effectués dans d'autres régions, même proches de la nôtre, des différences sensibles apparaissent et peuvent être interprétées

comme des variantes géographiques liées à des différences de substrat, de climat, ...

Dès lors, si, a priori, les diatomées peuvent être utilisées comme bio-indicateurs pour l'estimation des pollutions - principe que nous ne remettons pas en cause ici - c'est seulement par référence à une connaissance approfondie, dans un contexte régional défini, des peuplements naturels, de leur dynamique, et de la végétation potentielle qui, en cas d'altération grave, doit être déterminée principalement en fonction du substrat géologique.

Cette idée de référence n'est certes pas nouvelle. Si elle est généralement admise, elle n'est pourtant que très sommairement mise en pratique dans beaucoup de travaux sur les milieux pollués. Quant aux changements saisonniers des peuplements et à la notion de végétation algale potentielle, il en est encore fait mention plus rarement dans les travaux d'algologie sur les eaux courantes. D'ailleurs, ces éléments n'interviennent jamais dans le calcul des indices biotiques existants.

Une autre lacune de ces indices est de considérer la valeur indicatrice des espèces de façon trop rigide : en effet, la présence d'un taxon, normale dans un type de milieu naturel, peut indiquer une altération dans un milieu de niveau trophique inférieur mais pollué ou eutrophisé.

Nous pensons donc que l'étude de la qualité des eaux d'une région passe nécessairement par une étude préliminaire détaillée des milieux naturels et de leur végétation potentielle et que les résultats de cette étude ne peuvent pas être transposés à une autre région sans vérifications préalables. De plus, les modifications saisonnières importantes des peuplements imposent de réaliser plusieurs prélèvements par année.

Ces conditions sont rarement remplies, ce qui peut expliquer la difficulté d'interprétation et l'imprécision des indices de qualité d'eau.

La vulnérabilité des milieux oligotrophes à mésotrophes explique la difficulté de trouver un nombre suffisant de stations de référence et illustre l'altération généralisée des eaux de surface, même dans une région pourtant encore peu peuplée, où des réserves naturelles ont été constituées. En effet, 72 stations sur les 150 prospectées se sont révélées suffisamment proches de l'état naturel pour servir de référence. En totalisant les tronçons situés en amont des stations de prélèvements, cette proportion ne représente que 230 km de

rivières en très bon état sur les quelque 600 km prospectés (soit 38 %).

Nous espérons que ce travail puisse servir un jour de référence pour la mise en oeuvre d'un plan de gestion et de protection des eaux de surface, qui respecte et restaure autant que possible la diversité et les caractéristiques originales de ces milieux.

Dans cette optique, il est heureux de constater que différentes variantes trophiques sont déjà comprises dans le périmètre des réserves naturelles des Hautes-Fagnes (variantes I.1 à I.4 et II.7) et des vallées de la Schwalm, de l'Olef et de la Holzwarche (variante II.8). Pour ces territoires appartenant aux bassins de la Vesdre et de la Roer, environ 160 km de rivières sur les 220 prospectés (soit 73 %) sont en très bon état grâce à ce statut de protection.

Cependant, même dans ces conditions, il convient de rester vigilant car les expériences de fumures forestières et, plus récemment, de pulvérisation à grande échelle de chaux liquide sur les plantations ligneuses constituent des menaces d'eutrophisation sérieures et risquent de modifier fondamentalement les caractéristiques et les peuplements naturels de ces rivières.

Par contre, il est urgent que des vallées comme la Hoegne (variante I.5), la Roba et le Rechterbach (variante II.7) et surtout les rares affluents de l'Our qui soient encore préservés (Kolvenderbach, Medenderbach, Treisbach : variante III.9) jouissent d'une protection semblable. En effet, dans les bassins de l'Amblève et de l'Our, nous estimons que seulement 70 km sur les 380 km prospectés (soit 18 %) ont encore des caractéristiques naturelles.

Face à l'accroissement de nos besoins en eau de bonne qualité, la défense de cette richesse naturelle, dans une région économiquement défavorisée, apparaît comme un objectif prioritaire.

BIBLIOGRAPHIE : fascicule commun (FABRI & LECLERCQ, 1984), chapitre 6.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX HORS TEXTE

Abréviations des noms des taxons cités dans le texte

2.	A AUST H	Achnanthes austriaca var. helvetica
4.	A BIOR	" bioretii
12.	A LANC D	" lanceolata var. dubia
14.	A LAPI	" lapidosa var. lapidosa
16.	A LAPP	" lapponica
18.	A MARG	" marginulata
19.	A MINU	" minutissima var. minutissima
20.	A MINU J	" minutissima var. jackii
22.	A SAXO	" saxonica
29.	AMPHO OV	Amphora ovalis
30.	AMPHO PE	" pediculus
31.	AN SER	Anomoeoneis serians var. serians
32.	AN SER B	" serians var. brachysira f. thermalis
33.	AN VIT	" vitrea f. vitrea
35.	AST FORM	Asterionella formosa
36.	CA BACI	Caloneis bacillum
40.	CA VEN T	" ventricosa var. truncatula
41.	CO DISC	Cocconeis disculus
42.	CO PEDI	" pediculus.
43.	CO PLA E	" placentula var. euglypta
45.	CYC MENE	Cyclotella meneghiniana
55.	CY GIRO	Cymbella girodi
56.	CY HAUC	" hauckii
61.	CY LUNA	" lunata
62.	CY MIN	" minuta var. minuta
64.	CY NAVI	" naviculiformis
65.	CY PERP	" perpusilla
69.	CY SINU	" sinuata
73.	DIA ANC	Diatoma anceps
75.	DIA HI M	" hiemale var. mesodon
77.	DIA TE E	" tenue var. elongatum
78.	DIA VUL	" vulgare
79.	DIP OB	Diploneis oblongella var. oblongella
87.	E CURV	Eunotia curvata var. curvata
89.	E DIOD	" diodon
90.	E EXIG	" exigua var. exigua

94.	E FLEX	Eunotia flexuosa
96.	E RHOM	" rhomboidea
103.	E PECT	" pectinalis var. pectinalis
104.	E PECT M	" pectinalis var. minor.
106.	E PECT V	" pectinalis var. ventricosa
107.	E PRAE	" praerupta var. praerupta
108.	E PRAE B	" praerupta var. bidens
109.	E PRAE I	" praerupta var. inflata
110.	E SEPT	" septentrionalis
115.	E TENE	" tenella
116.	E TRID P	" tridentula var. perminuta
122.	FRA BIC	Fragilaria bicapitata
124.	FRA CAP	" capucina var. lanceolata
127.	FRA CO V	" construens var. venter
133.	FRA RUM	" rumpens
134.	FRA VA	" vaucheriae var. vaucheriae
136.	FRA VI	" virescens var. virescens
138.	FRA VI E	" virescens var. elliptica
140.	FRU R	Frustulia rhomboides var. rhomboides
144.	FRU R SA	" rhomboides var. saxonica
145.	FRU VU	" vulgaris var. vulgaris
147.	FRU WEI	" weinholdii
148.	GO ACU	Gomphonema acuminatum var. acuminatum
151.	GO ANG	" angustatum var. angustatum
152.	GO ANG P	" angustatum var. productum
155.	GO CLEV	" clevei
157.	GO GRAC	" gracile
159.	GO LON S	" longiceps var. subclavatum
161.	GO OLIV	" olivaceoides
162.	GO PARV	" parvulum
163.	GO TRU	" truncatum var. truncatum
167.	HANN A	Hannaea arcus var. arcus
168.	HANN A A	" arcus var. amphioxys
169.	HANT A	Hantzschia amphioxys f. amphioxys
170.	HANT A C	" amphioxys f. capitata
171.	MEL DIS	Melosira distans
173.	MEL ITA	" italica

174. MEL VAR Melosira varians
175. MER CI Meridion circulare var. circulare
176. MER CI C " circulare var. constrictum
177. NA ACCO Navicula accomoda
179. NA ANGU " angusta
185. NA CAP " capitata var. capitata
187. NA CINC " cincta
188. NA COCC " cocconeiformis
191. NA CRY " cryptocephala var. cryptocephala
197. NA ELG S " elginensis var. subcapitata
198. NA EXCE " excelsa
201. NA FRUG " frugalis
204. NA GREG " gregaria
210. NA LANC " lanceolata
214. NA MINI " minima
215. NA MINU " minuscula
225. NA PERM " permitis
230. NA PUP " pupula var. pupula
235. NA QUAD " quadripunctata
236. NA RAD " radiosa var. radiosa
240. NA RHYN " rhynchocephala
242. NA SAPR " saprophila
250. NA TR PA " tridentula var. parallela
252. NA TRIV " trivialis
253. NA TWYM " twymaniana
255. NE AFF Neidium affine var. affine
258. NE BIS " bisulcatum var. bisulcatum
263. NE HERC " hercynicum
270. NI ACIC Nitzschia acicularis
271. NI ACID " acidoclinata
275. NI ARCH " archibaldii
277. NI DISS " dissipata
279. NI GAND " gandersheimiensis
282. NI HOMB " homburgiensis
285. NI LINE " linearis
287. NI PALEA " palea
288. NI P'CEA " paleacea
289. NI PUSI " pusilla
290. NI RECT " recta
291. NI ROMA Nitzschia romana
295. NI SOCI " sociabilis
299. PE FIBU Peronia fibula
301. P ACRO Pinnularia acrosphaeria
304. P APPE I " appendiculata var. irrorata
305. P BICE " biceps f. biceps
306. P BICE M " biceps f. minutissima
307. P BORE " borealis
310. P BREB D " brebissonii var. diminuta
316. P DI'ENS " divergens var. divergens
325. P HILS " hilseana
329. P MAJO " major
331. P MESOL " mesolepta
332. P MICR " microstauron
337. P OBSC " obscura
340. P ABAU " abaujensis var. abaujensis
343. P STO'RA " stomatophora
346. P SUBC " subcapitata
348. P SUDE " sudetica
352. P VIRI " viridis var. viridis
353. P VIRI C " viridis var. commutata
355. RHOI CUR Rhoicosphenia abbreviata
360. STA AN Stauroneis anceps var. anceps f. anceps
362. STA AN H " anceps var. hyalina
368. STA PH " phoenicenteron var. phoenicenteron
373. STA TH " thermicola f. thermicola
378. ST'US HA Stephanodiscus hantzschii
380. ST'IS TU Stephanopyxis turris var. cylindrus f. inermis
381. SU ANGU Surirella angusta
382. SU CEL " celtica var. celtica
384. SU DELI " delicatissima
389. SU OVA " ovata var. ovata
390. SU OVA P " ovata var. pinnata
395. SU ROBA " roba
396. SY ACUS Synedra acus
403. SY ULN " ulna var. ulna
408. TAB FEN Tabellaria fenestrata
409. TAB FLO " flocculosa

taxons principaux	comportement des taxons vis-à-vis			Assemblage à E EXIG						Assemblage à FRA CAP et E PECT M			
	du pH	de la pollution	du niveau trophique	clusters						clusters			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eunotia exigua	acidobionte	saprophobe	dys-oligo	(99)	(91)	(86)	(66)	(73)	(40)	(31)	3	3	1
rhomboides	acidobionte	saprophobe	dys-oligo	.	.	(12)	(9)	2	1	1	.	.	.
curvata	acidobionte	saproxène	dys-oligo	.	.	1	(8)	.	+	1	.	.	.
Frustulia rhomboides var. *saxonica*	(acidobionte) acidophile	saprophobe	dys-oligo	–	.	.	1	.	+	1	.	.	.
Anomoeoneis serians var. *brachysira*	acidophile	saprophobe	dys-oligo	.	1	.	7	.	+	1	.	.	.
Pinnularia hilseana	acidophile	saproxène	dys-oligo	.	.	.	.	(3)	1	1	.	.	.
Achnanthes austriaca var. *helvetica*	acidobionte	saprophobe	oligo	.	–	.	.	(15)	1	1	.	1	–
Surirella roba	acidophile	saprophobe	oligo	.	.	–	.	.	(4)	(6)	1	1	.
Tabellaria flocculosa	acidophile	saproxène	dys-oligo	.	.	.	1	.	.	(4)	1	+	+
Achnanthes saxonica	acidophile	saprophobe	oligo	.	–	–	.	.	+	(3)	1	+	+
Fragilaria virescens	acidophile à neutrophile	saproxène	oligo	–	–	–	+	.	+	(2)	+	+	+
Eunotia pectinalis var. *minor*	acidophile	saproxène	oligo	–	.	–	+	.	+	(3)	1	+	+
Pinnularia brebissonii var. *diminuta*	indifférent (neutrophile)	saproxène	oligo-méso	–	–	–	–	.	+	.	.	.	.
Achnanthes minutissima	neutrophile	saproxène	oligo-méso	.	(5)	.	1	.	(37)	(16)	(44)	(40)	(38)
Gomphonema parvulum	indifférent à neutrophile	indifférent	oligo-méso	.	+	.	.	.	2	6	3	5	4
Fragilaria capucina var. *lanceolata*	neutrophile	saprophobe	oligo(méso)	.	.	–	4	.	2	(17)	(32)	(12)	1
Meridion circulare var. *constrictum*	acidophile à neutrophile	saproxène	oligo	.	–	–	.	–	.	.	.	1	.
Diatoma hiemale var. *mesodon*	neutrophile	saprophobe	oligo-méso	.	–	–	.	.	.	1	1	(5)	(7)
Cymbella minuta	neutrophile	saproxène	méso	.	–	.	.	.	.	.	1	(8)	(8)
Fragilaria vaucheriae	neutrophile (alcaliphile)	indifférent à saproxène	méso(eu)	.	–	–	.	.	.	.	1	(6)	1
Navicula cryptocephala	neutrophile	saproxène à saprophile	méso	.	.	.	.	.	.	.	+	1	1
rhynchocephala	neutrophile	saproxène	oligo-méso	.	–	–	.	.	.	.	+	+	+
Synedra ulna	neutrophile	indifférent	méso	.	.	.	.	.	.	.	+	1	+
Achnanthes marginulata	neutrophile	saproxène	oligo-méso	–	.	.	–	.	.	.	+	1	+
bioretii	neutrophile	saproxène	méso	–	–	–	–	–	.	–	.	+	.
Hannaea arcus	neutrophile	saproxène	oligo-méso	.	–	–	.	–	–	.	(6)	2	.
Fragilaria rumpens	neutrophile	saproxène à saprophile	méso(eu)	.	–	–	–	.	.	.	.	1	.
Achnanthes lanceolata	alcaliphile	saproxène à saprophile	méso	.	.	.	.	.	1	.	.	+	(3)
Navicula minima	neutrophile	saprophile	méso-eu	–	–	–	–	.	1	.	.	+	(3)
Nitzschia archibaldii	neutrophile	saprophile	méso	.	.	.	–	.	(2)	.	.	1	1
Surirella ovata	neutrophile (alcaliphile)	saproxène à saprophile	oligo-méso	–	.	–	–	.	+	–	.	+	1
Navicula gregaria	neutrophile à alcaliphile	saprophile	méso(eu)	–	–	–	–	–	.	–	–	.	1
Gomphonema clevei	neutrophile	saprophobe	oligo-méso	–	–	–	–	–	–	–	.	1	+
olivaceoides	neutrophile	saproxène	méso	–	–	–	–	–	–	–	–	1	3
Cocconeis placentula var. *euglypta*	alcaliphile	saproxène	méso	–	.	–	–	.	–	–	.	.	(10)
Navicula lanceolata	(neutrophile) alcaliphile	saprophile	méso-eu	.	–	.	–	.	–	–	.	.	(2)
Cymbella sinuata	neutrophile (alcaliphile)	saproxène (saprophile)	méso-eu	–	–	–	–	–	.	.	.	.	(2)

Tableau 81b.- Typologie de référence des peuplements naturels de diatomées du nord du massif Ardennais : abondances relatives moyennes en % des principaux taxons pour les 2 assemblages et les 10 clusters. Colonnes 2 à 4 : écologie des taxons dans le nord du massif Ardennais (voir chapitre 5.3.7.)

Abréviations et symboles : dys: dystrophe; oligo: oligotrophe; méso: mésotrophe; eu: eutrophe; dys-oligo: dystrophe à oligotrophe; oligo-méso: oligotrophe à mésotrophe; méso-eu: mésotrophe à eutrophe; +: taxon rare; .: taxon très rare; –: taxon absent; E EXIG: *Eunotia exigua;* FRA CAP: *Fragilaria capucina* var. *lanceolata;* E PECT M: *Eunotia pectinalis* var. *minor*.

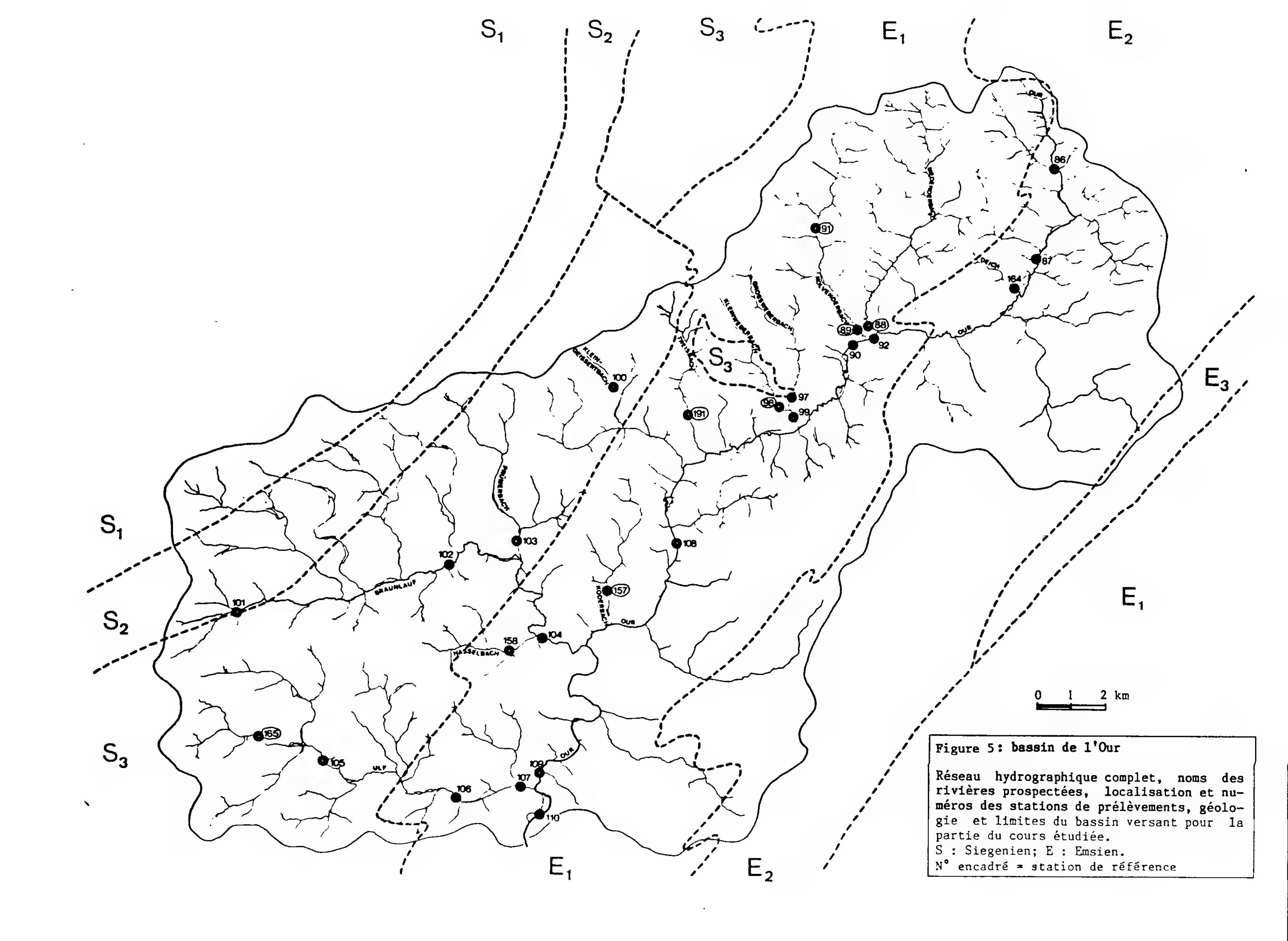


Figure 5: bassin de l'Our

Réseau hydrographique complet, noms des rivières prospectées, localisation et numéros des stations de prélèvements, géologie et limites du bassin versant pour la partie du cours étudiée.
S : Siegenien; E : Emsien.
N° encadré = station de référence

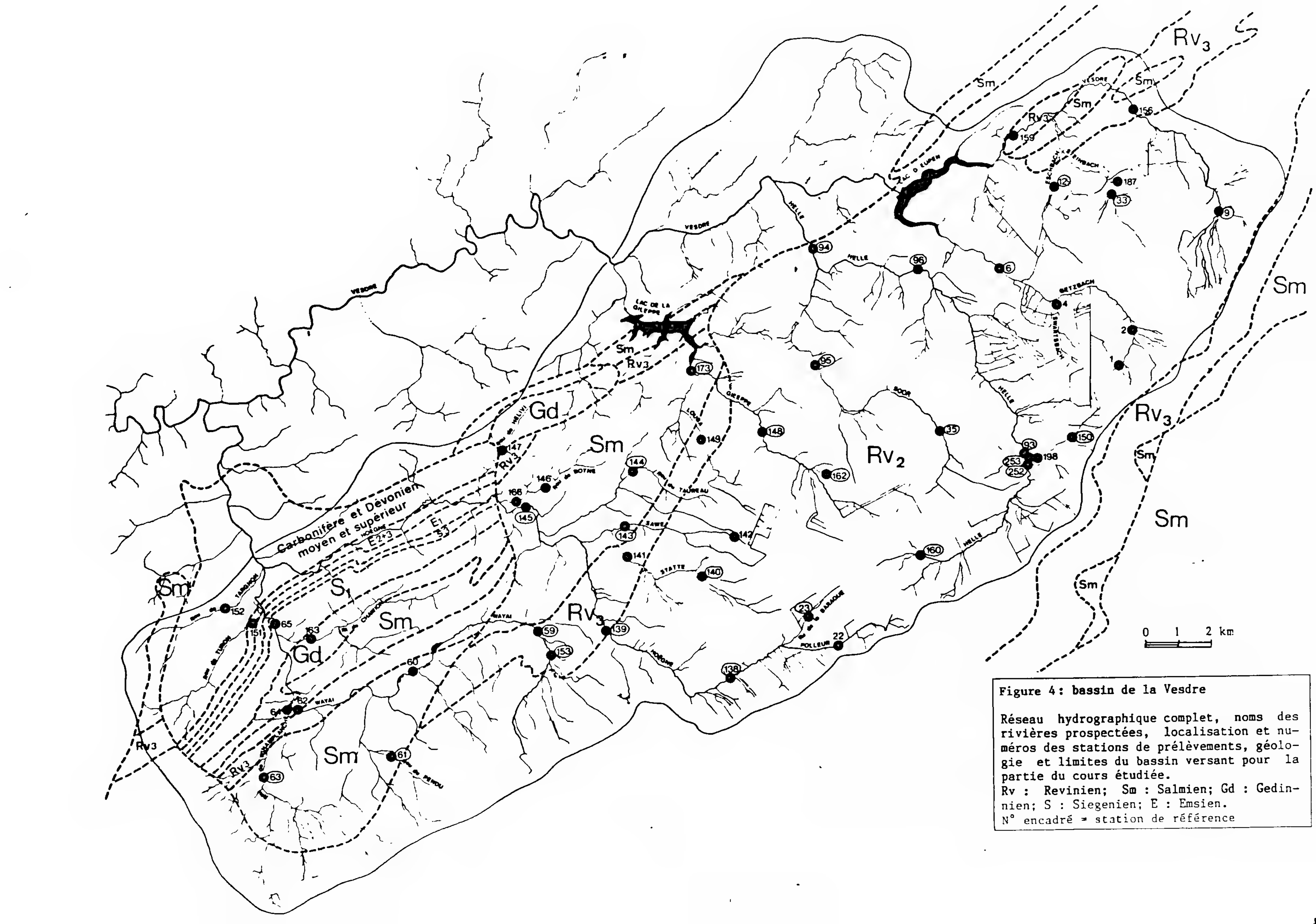


Figure 4: bassin de la Vesdre

Réseau hydrographique complet, noms des rivières prospectées, localisation et numéros des stations de prélèvements, géologie et limites du bassin versant pour la partie du cours étudiée.
Rv : Revinien; Sm : Salmien; Gd : Gedinnien; S : Siegenien; E : Emsien.
N° encadré = station de référence

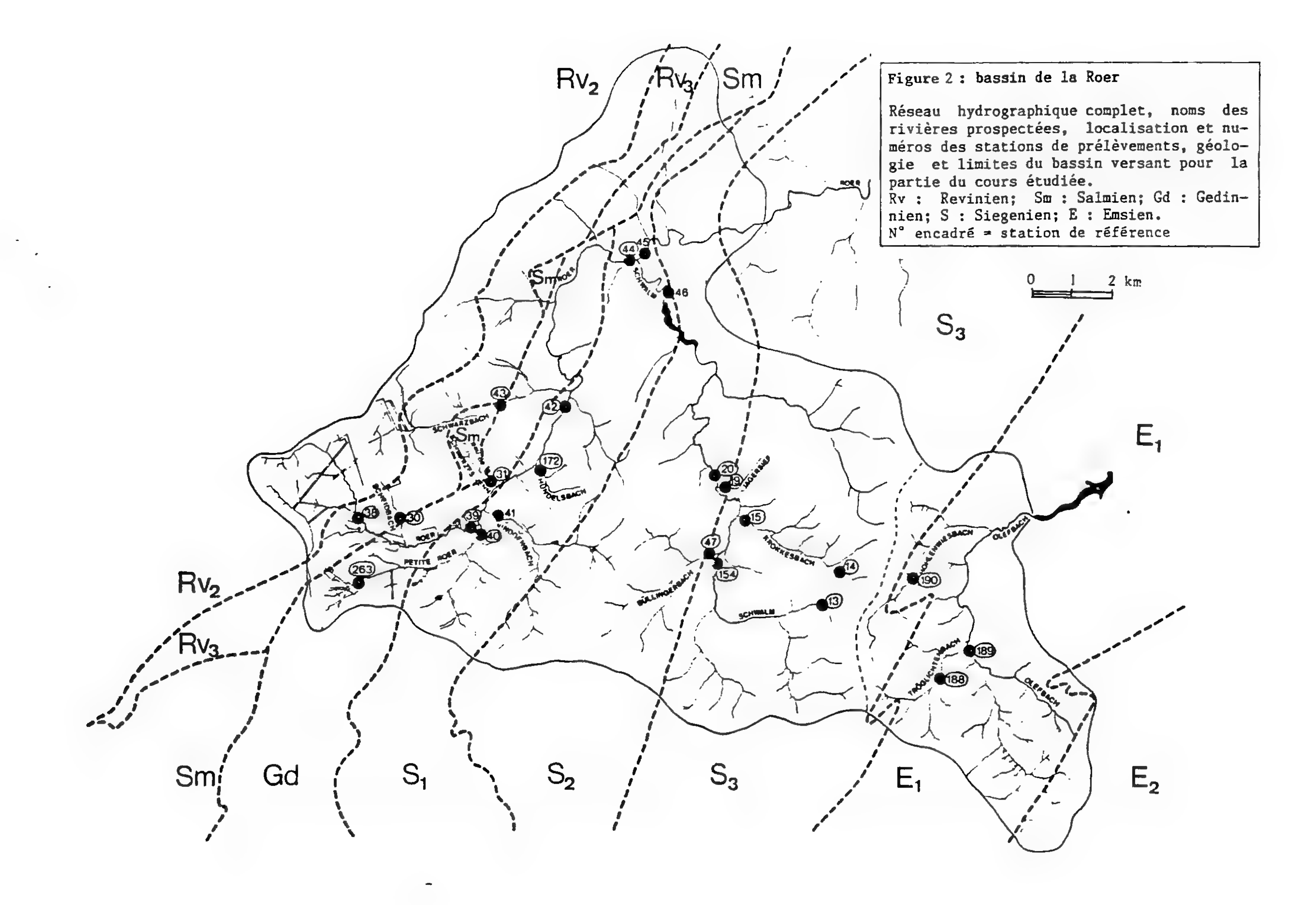


Figure 2 : bassin de la Roer

Réseau hydrographique complet, noms des rivières prospectées, localisation et numéros des stations de prélèvements, géologie et limites du bassin versant pour la partie du cours étudiée.
Rv : Revinien; Sm : Salmien; Gd : Gedinnien; S : Siegenien; E : Emsien.
N° encadré = station de référence

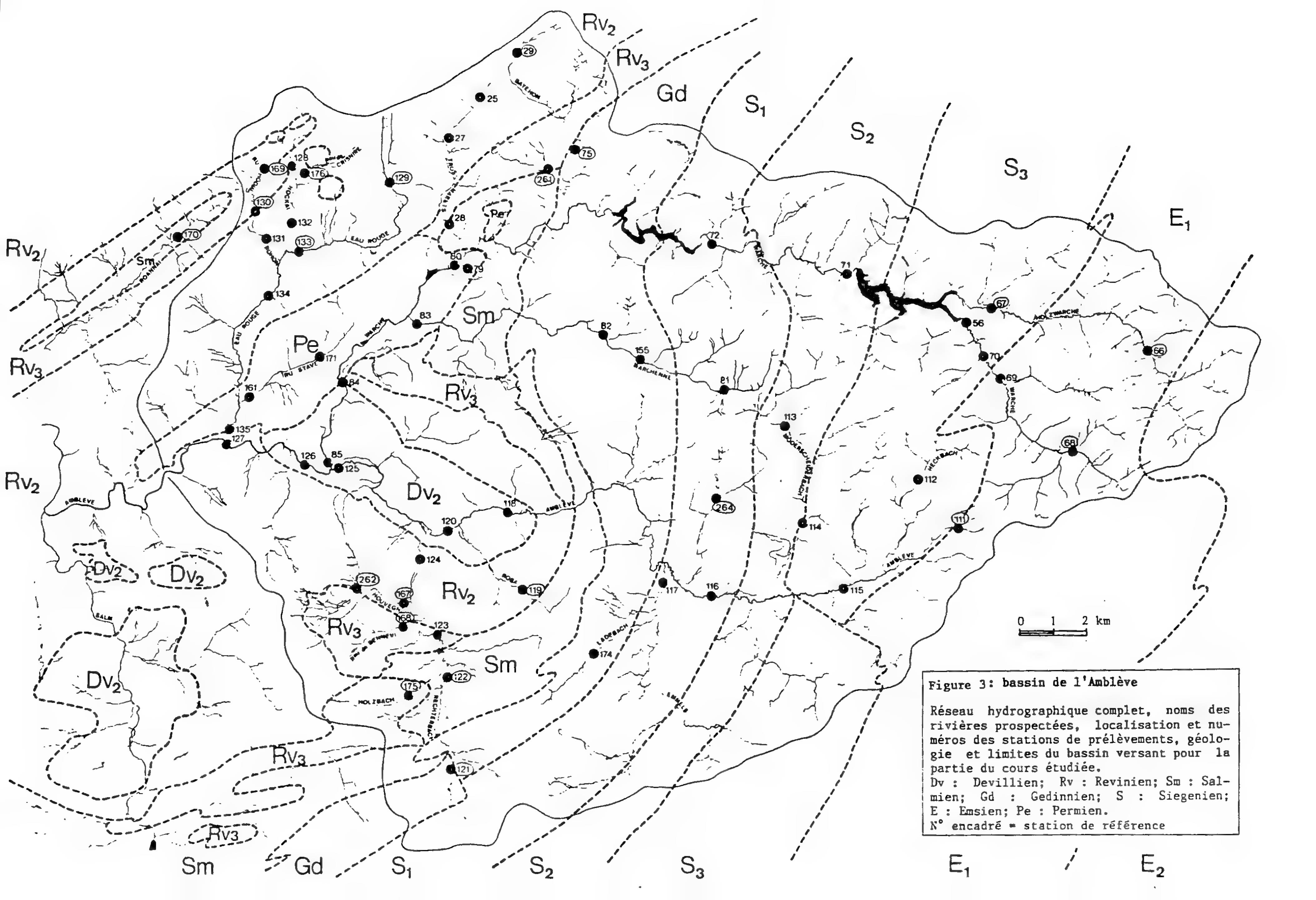


Figure 3: bassin de l'Amblève

Réseau hydrographique complet, noms des rivières prospectées, localisation et numéros des stations de prélèvements, géologie et limites du bassin versant pour la partie du cours étudiée.
Dv : Devillien; Rv : Revinien; Sm : Salmien; Gd : Gedinnien; S : Siegenien; E : Emsien; Pe : Permien.
N° encadré = station de référence

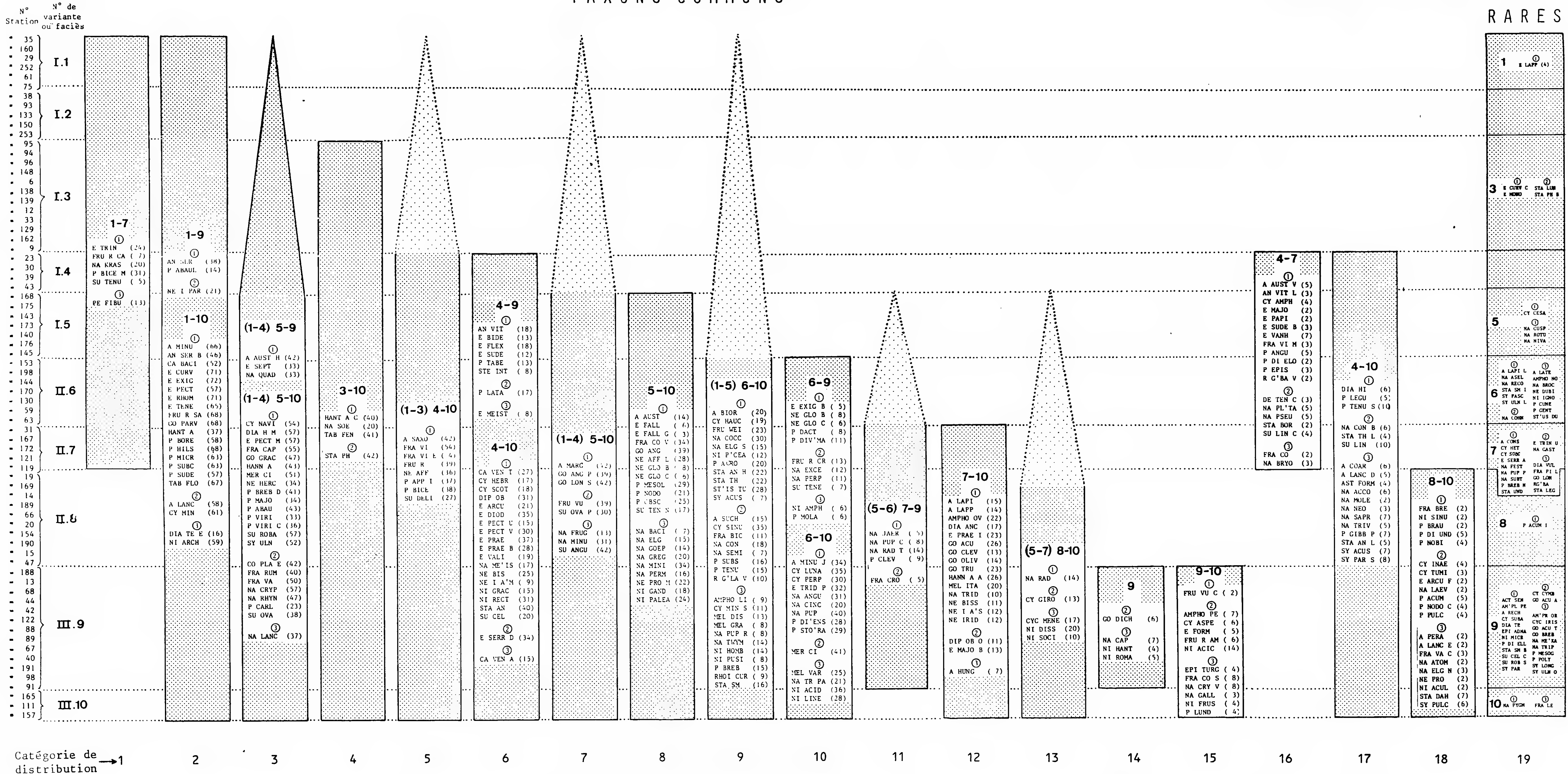


Figure 49.- Figure synthétique issue du tableau de présence-absence (fascicule annexe, chapitre 5.4.) . Les stations sont rangées par cluster, comme dans le tableau écologique moyen (tableau 71). Pour chaque catégorie de distribution (1 à 19), le nombre de mentions pour chaque station figure entre parenthèses et les taxons sont répartis en 3 groupes suivant la fréquence des observations en présence ou en l'absence de phosphates (①: plus de 65 %, ②: entre 65 et 45 %, ③: moins de 45 % des observations dans la classe allant de 0 à 15 ppb-P).

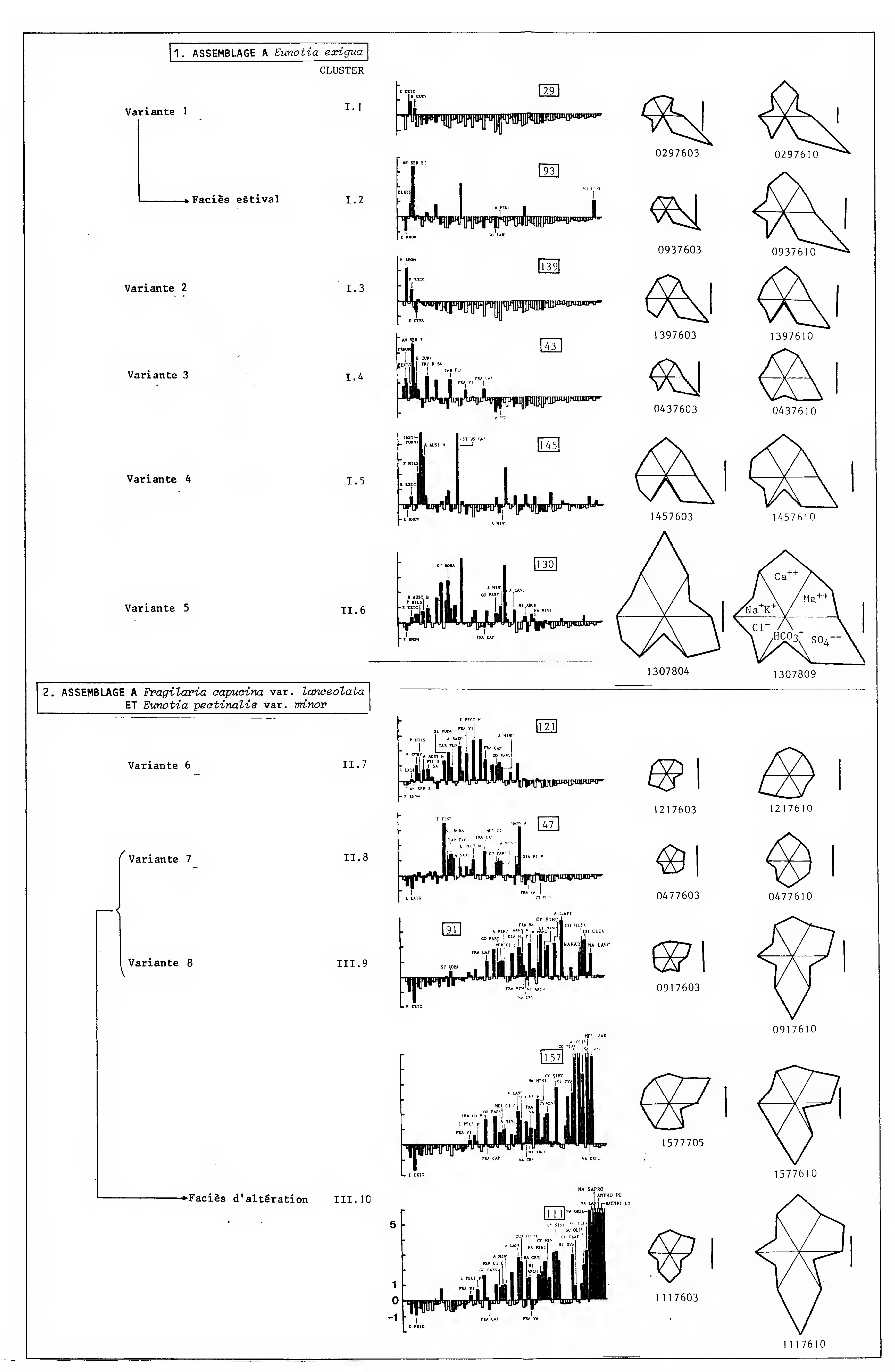


Figure 51.- Profils des valeurs de z (écart réduit) pour les stations les mieux prospectées et diagrammes ioniques extrêmes enregistrés à ces stations. Pour les histogrammes, l'ordre des taxons, de gauche à droite, a été déterminé par l' analyse en composantes principales :

P BICE M, E RHOM, E TRIN, E EXIG, AN SER B, E CURV, P HILS, AST FORM, A AUST H, P APPE I, FRU R SA, FRU R, GO GRAC, AN VIT, P MICR, SY ACUS, E TENE, NA ANGU, P SUBC, SU ROBA, TAB FLO, E TRID P, P BREB D, ST'US HA, A SAXO, CY NAVI, P LUND, FRA VI, A MINU J, MEL ITA, E PECT M, NA CINC, E PECT, GO LON S, FRA CO V, FRA CAP, NA FRUG, A LAPI, GO ANG, SU OVA P, GO PARV, MER CI C, A MINU, DIA TE E, MER CI, NA RHYN, GO TRU, NI HOMB, A LANC, DIA HI M, HANN A, FRA RUM, NA CRY, NI ARCH, FRA VA, GO ACU, NI ACID, NA MINI, A MARG, SY ULN, FRU VU, CY MIN, GO ANG P, NI P'CEA, SU ANGU, CY SINU, A BIOR, HANN A A, A LAPP, NA MINU, NI ACIC, NA PERM, SU OVA, CO PLA E, FRA VA C, NI DISS, NA RAD, GO OLIV, GO CLEV, MEL VAR, NA GREG, NA LANC, NA SAPR, NI PUSI, NI LINE, AMPHO PE, AMPHO LI, DIA ANC.

	ACIDES																								
Type chimique moyen	1							2													3				
	175	160	252	253	35	162	23	6	9	12	33	94	96	95	150	138	140	61	29	129	139	143	148	173	38
PH	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ALCALINITÉ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SULFATES	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
CALCIUM	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MAGNÉSIUM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
FER	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2
ALUMINIUM	1	2	2	2	-	2	-	-	2	2	2	-	-	-	-	2	-	2	2	-	2	-	-	2	2
CHLORURES	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	3	2	1
NITRATES	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1
SODIUM	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	3	1
POTASSIUM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SILICE	2	-	1	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	3	1
OXYDABILITÉ	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

	INTERMEDIAIRES																				
	ACIDES										LEGEREMENT ACIDES										
Type chimique moyen	4							5			6							7			
	144	30	39	43	176	168	167	145	75	133	153	63	14	31	172	119	121	59	170	169	130
PH	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ALCALINITÉ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
SULFATES	2	2	2	2	2	1	2	3	3	3	2	2	1	1	2	1	1	3	3	3	3
CALCIUM	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4
MAGNÉSIUM	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3
FER	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2
ALUMINIUM	-	-	2	2	2	1	1	2	-	-	-	1	-	1	1	1	1	-	1	1	1
CHLORURES	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	3	3	3
NITRATES	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	3	2
SODIUM	2	1	1	1	1	1	3	3	2	2	3	3	1	1	1	2	1	3	3	3	3
POTASSIUM	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
SILICE	-	-	1	2	3	-	-	3	-	-	-	4	-	1	2	4	3	-	3	1	3
OXYDABILITÉ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1

	NEUTRES																								
	A TENDANCE ACIDE ←——→ A TENDANCE BASIQUE																								
Type chimique moyen	8					9						10										11			
	13	15	19	20	154	42	44	47	190	122	66	40	188	189	67	68	91	98	157	165	191	111	88	89	198
PH	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ALCALINITÉ	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6
SULFATES	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
CALCIUM	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4
MAGNÉSIUM	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	3	2	2	2	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	3
FER	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2
ALUMINIUM	-	-	-	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	-	-	1	1	1	1	1	-	1	1	1
CHLORURES	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3	2	1	1	2	1	1	1	3	3	1	1	2	1	2
NITRATES	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	3	2	1	2	2	2	1
SODIUM	1	1	1	1	1	1	3	1	1	2	3	2	1	1	3	1	1	1	3	3	1	2	3	3	3
POTASSIUM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1
SILICE	-	-	-	2	2	2	-	2	2	3	2	1	3	2	-	-	3	3	4	-	3	-	-	-	4
OXYDABILITÉ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1

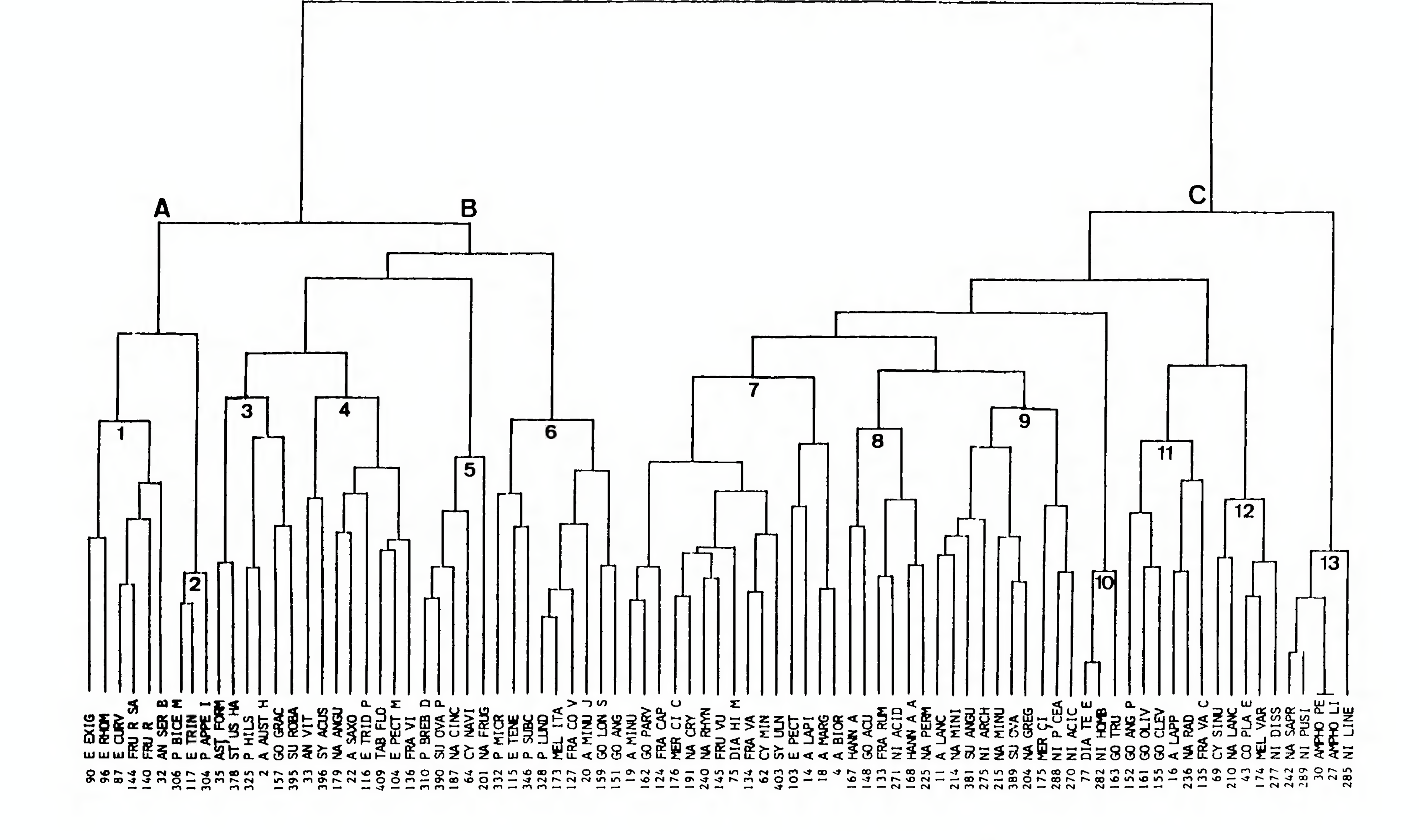
SEQUENCE GEOLOGIQUE EN AMONT DE CHAQUE STATION

Rv_2	0,1	1,3	6,4	6,7	2,3	0,5	1,3	6,0	3,5	2,5	2,0	17,8	13,8	7,3	2,5	5,0	2,8	2,5	1,5	2,0	10,0	3,3	2,5	4,0	3,5
Rv_3	3,0																					0,7		0,8	0,3
Sm																		0,2				0,5		0,7	
Gd																									
S_1																									
S_2																									
S_3																									
E_1																									
E_2																									
E_3																									
Partic.																									

Rv_2	1,5	0,1	3,5	1,2	1,8		0,5 (+1,0)	10,0	1,5	7,0	2,5	1,0				0,5		2,5			
Rv_3	0,8	1,0	1,0	1,3		2,0	1,9	2,0	1,0		1,0							1,8	1,0	0,8	2,3
Sm	1,2			1,3				3,8				3,3		1,0		1,5			2,5		
Gd			1,5						1,5								1,0				
S_1			1,3												1,3		1,0				
S_2																					
S_3													1,0								
E_1																					
E_2																					
E_3																					
Partic.					SILEX					POU-HON									S I L E X		

Rv_2						3,5	3,5																		
Rv_3						1,0	1,0																		
Sm										1,9															
Gd						1,5	1,5 4,0			2,2		2,2													
S_1						5,3	6,8 0,5			1,0		2,3													
S_2				0,5				3,0																	
S_3	1,0	4,0	1,3	7,0	5,0				1,2						1,0			1,7		2,5	1,3				
E_1									1,0		1,5		1,8	3,3	6,0	3,6	4,0	1,5 (0,6)	4,0		3,0	1,0	7,5	7,5	
E_2											2,0			0,5	2,0										
E_3																									
Partic.																									TON

Tableau 56.- Classement des stations de référence sur base des principaux paramètres physico-chimiques (valeurs moyennes annuelles exprimées en classes), et correspondance avec la situation géologique en amont de chaque station (distances en km; écoulement du Rv_2 au E_1, marqué par des flèches dans le cas contraire).



N° de station \ N° de taxon	90	96	87	144	32	325	2	33	157	395	409	22	136	104	310	332	115	346	127	151	19	162	124	176
35	(499)	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
160	494	+	4	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-
29	496	-	2	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
252	496	+	1	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-
61	484	2	1	-	-	+	4	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	2	-	-	2	1	+	1
75	478	2	-	-	-	+	1	-	+	3	+	+	-	-	-	1	1	+	-	-	2	+	4	-
38	468	6	2	2	9	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	10	+	-	-
93	447	+	1	1	24	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	+	-	-	-	15	1	1	-
133	422	1	+	+	-	-	-	-	+	7	+	-	-	1	-	+	-	+	-	-	61	+	-	-
150	405	4	2	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	86	2	-	-
253	484	+	1	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	8	2	+	-
95	372	119	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	+	-	-	-	-	-	-
94	354	138	1	2	-	2	-	-	-	-	+	-	-	-	-	1	-	+	-	-	-	-	-	-
96	(468)	(31)	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	(1)	+	-	-	-	-	-	-	-
148	474	24	+	-	-	1	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
6	427	72	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
138	414	82	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
139	383	113	+	+	-	1	1	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
12	435	52	5	+	4	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-
33	422	67	1	1	3	1	-	-	-	-	3	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
129	460	29	3	1	-	1	-	-	-	-	+	-	-	-	-	2	+	+	-	-	1	-	-	-
162	474	13	11	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	1	-	-	-	+	-	-
9	469	22	6	+	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
23	426	28	21	2	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	1	+	-	-	-	-	-	-
30	296	26	127	12	+	1	+	-	-	+	3	-	11	10	-	1	3	+	-	-	+	1	+	-
39	260	65	63	10	59	+	-	+	+	-	2	+	-	+	-	+	+	-	-	-	7	+	30	-
43	391	31	4	2	28	2	+	-	+	+	7	-	3	1	-	1	+	+	-	-	2	+	22	+
168	(82)	+	(1)	+	+	(104)	(149)	-	-	+	(33)	+	(130)	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-
175	(444)	(11)	+	+	+	+	(38)	-	-	+	(1)	-	(5)	+	-	-	-	(1)	-	-	-	+	-	+
143	431	4	-	-	-	4	57	-	+	+	-	-	-	-	-	1	-	+	-	-	1	-	-	-
173	445	21	+	+	1	3	17	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	1	1	+	-
140	443	34	1		-	10	7	-	-	+	+	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	+	-	-
176	387	4	2	+	-	13	53	-	-	+	1	+	4	1	1	+	1	4	-	+	3	3	2	3
145	243	2	1	+	-	10	191	-	-	5	1	-	+	-	-	+	+	1	-	-	11	10	2	+
153	(64)	+	+	-	-	(2)	(16)	-	-	(59)	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	(243)	(18)	-	-
198	+	-	-	-	-	3	10	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	2	-	-	370	22	+	-
144	363	3	1	-	+	3	27	-	5	10	1	-	+	1	2	4	+	1	-	+	36	7	19	1
170	266	6	1	2	1	4	6	-	+	3	8	-	4	3	2	5	3	2	-	1	138	4	2	2
130	162	1	3	2	1	2	5	+	-	47	5	1	1	2	1	1	3	1	-	+	224	11	3	2
59	226	4	3	1	-	3	-	-	-	2	1	-	-	+	+	-	1	2	2	-	215	7	7	-
63	203	3	1	+	-	2	2	-	-	5	1	+	1	3	3	1	1	1	-	+	166	15	23	4
31	211	2	6	8	9	4	1	50	-	8	59	1	6	14	-	-	1	+	-	-	35	29	43	1
167	133	+	4	1	4	+	3	-	8	6	45	15	1	11	+	+	+	+	+	-	62	22	173	+
172	110	3	1	+	-	4	9	-	1	6	4	14	15	5	-	+	+	1	1	+	100	56	144	3
121	92	2	5	1	+	2	6	-	+	17	5	12	11	21	-	+	+	+	+	1	157	22	118	4
119	194	7	5	3	3	8	8	-	1	97	9	38	14	13	-	+	+	+	+	+	35	15	10	2
19	(2)	(1)	+	+	-	+	-	-	-	+	+	(24)	(4)	(2)	-	+	+	+	-	+	(191)	+	(3)	+
169	(7)	+	+	-	+	+	-	-	-	+	(1)	-	-	(5)	+	-	+	-	-	(1)	(284)	(20)	(87)	(11)
14	(12)	+	+	+	+	+	-	-	+	(1)	(17)	(3)	+	(4)	-	+	-	-	-	+	(178)	(15)	(266)	+
189	(11)	+	(1)	+	+	+	-	(3)	(1)	(3)	(10)	(2)	(1)	+	-	-	-	(1)	-	+	(260)	(5)	(176)	+
66	45	1	+	+	+	1	2	+	-	2	4	4	1	9	-	1	-	1	+	-	207	17	145	3
20	+	-	-	+	-	-	-	-	-	3	1	1	+	+	-	-	-	-	-	-	343	7	78	1
154	1	1	+	+	-	-	-	-	+	1	2	1	+	4	-	+	-	+	+	-	185	9	221	2
190	(6)	(1)	+	+	+	+	-	-	+	(5)	(1)	(1)	(6)	(2)	-	-	+	(4)	+	(2)	(248)	(19)	(148)	(3)
15	19	1	+	+	-	1	1	-	+	4	4	13	6	3	-	-	+	1	1	-	230	39	150	1
47	12	1	1	1	1	1	+	+	+	6	9	2	3	4	-	+	+	+	+	+	207	17	169	3
188	(7)	(2)	+	+	(1)	-	-	-	+	(2)	(1)	(1)	(3)	(2)	-	+	+	+	(11)	(1)	(233)	(50)	(21)	(8)
13	10	1	-	+	+	+	1	-	-	2	2	8	11	4	-	+	1	2	-	9	154	84	35	6
68	48	4	+	+	+	1	-	-	+	7	8	1	2	3	-	1	1	-	1	-	173	15	19	-
44	(83)	(9)	(4)	(3)	+	+	(4)	-	+	(2)	(20)	+	(7)	(6)	-	-	+	+	(1)	+	(83)	(29)	(84)	(15)
42	133	1	1	+	+	2	56	-	-	8	4	1	1	1	-	-	+	+	-	-	123	15	46	4
122	12	2	+	+	1	+	4	-	+	9	2	4	4	5	+	+	-	+	+	-	173	19	101	3
88	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-	199	13	30	3
89	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	+	-	+	5	-	-	-	-	+	-	233	14	19	3
67	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	2	4	1	+	-	-	+	+	1	-	94	36	58	13
40	2	+	1	+	-	+	-	-	+	4	5	-	2	1	-	+	-	+	-	-	115	55	92	9
191	(7)	+	+	+	-	+	-	-	+	(2)	(1)	(3)	(1)	(4)	-	+	+	+	-	+	(256)	(35)	(46)	+
98	1	+	-	+	+	-	+	-	+	2	1	-	1	1	-	-	+	+	+	2	286	15	31	1
91	1	+	+	+	-	-	+	-	-	2	+	+	2	2	+	-	+	+	-	2	259	20	58	3
165	(10)	+	(2)	(2)	+	+	-	-	+	-	(6)	-	(10)	(8)	(1)	(4)	(5)	(4)	(120)	(12)	(48)	(58)	(4)	(10)
111	10	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	2	3	-	1	-	-	+	1	238	18	1	3
157	1	+	+	-	+	+	-	-	+	+	2	2	3	2	1	+	-	-	3	2	199	17	5	2

N° de station \ N° de taxon	75	62	134	191	240	403	18	4	167	133	11	214	275	389	204	175	288	77	155	161	43	210	69
35	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	-	1	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
29	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
252	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	1	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
75	3	+	+	+	-	+	-	-	-	-	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
133	-	-	-	-	-	6	1	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
253	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-
95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
94	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
148	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
138	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
139	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
129	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
162	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
168	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
175	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
173	-	-	-	-	+	+	5	-	-	-	-	2	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
176	-	1	+	2	+	-	-	-	-	-	7	-	+	1	-	+	-	-	-	-	-	+	-
145	-	+	1	+	1	+	-	-	-	+	2	1	4	-	-	2	-	-	-	-	+	+	-
153	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	(73)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
198	-	-	-	+	-	-	-	-	-	2	-	7	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
144	-	2	-	+	-	-	-	-	-	-	1	1	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
170	-	1	+	1	+	+	1	+	-	-	4	2	16	1	+	1	-	-	-	-	-	-	-
130	-	1	+	1	1	+	+	-	-	-	3	1	3	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
59	-	3	-	3	1	+	6	-	-	-	1	1	3	2	-	1	-	-	-	-	-	-	+
63	+	6	+	8	+	1	1	-	-	-	13	5	9	1	+	1	-	-	-	-	-	-	1
31	-	-	-	+	-	2	1	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
167	-	-	1	1	+	-	2	-	-	+	+	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
172	8	1	+	1	+	+	-	-	+	-	3	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
121	9	+	+	1	+	1	1	-	-	-	1	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
119	5	1	2	4	2	+	1	-	-	+	3	+	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	(6)	+	+	+	(1)	+	(225)	(27)	+	+	(6)	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	(1)
169	+	(1)	(5)	(2)	-	(15)	-	-	-	+	(16)	(33)	(10)	+	-	-	-	-	-	-	(1)	+	-
14	+	+	-	-	(1)	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
189	+	(3)	(1)	(3)	+	(4)	+	-	(3)	-	-	-	(3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(1)
66	1	10	4	4	2	4	12	2	+	1	1	+	5	1	-	-	-	-	-	-	4	-	1
20	2	7	30	2	10	+	+	-	16	1	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
154	9	6	6	2	+	9	1	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
190	(14)	+	(16)	(3)	(2)	(1)	+	+	(5)	-	+	-	(3)	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+
15	4	+	3	2	+	+	5	-	4	-	+	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	5	1	1	1	+	1	1	-	46	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
188	(44)	(38)	+	(9)	(7)	(1)	(8)	(3)	+	+	(10)	(1)	(9)	(1)	-	-	-	-	+	+	+	-	(1)
13	96	2	3	15	3	+	16	4	+	1	2	2	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
68	1	52	11	2	1	1	3	1	-	11	1	3	12	+	1	3	93	-	-	-	1	+	1
44	(14)	(17)	(16)	(23)	(12)	(7)	(5)	+	(3)	(3)	(16)	-	(24)	-	+	+	-	-	-	-	(3)	+	+
42	2	29	7	5	4	1	2	-	33	1	+	1	4	+	+	+	-	3	-	-	-	-	-
122	42	44	7	6	2	1	2	1	18	8	3	3	5	2	+	-	-	-	+	+	-	-	1
88	1	75	66	11	1	4	3	1	36	2	+	1	30	+	1	+	2	-	-	1	+	+	1
89	2	78	35	11	1	3	7	2	8	10	1	6	4	1	-	+	1	-	-	2	1	2	5
67	20	79	29	35	4	1	4	11	2	14	3	4	20	16	7	2	1	+	-	-	4	+	1
40	6	35	81	9	5	1	2	1	-	2	1	+	6	3	-	4	-	38	-	-	1	-	-
191	(20)	(12)	(11)	(5)	(1)	(3)	(3)	-	(7)	(1)	(2)	-	+	+	-	-	-	-	(51)	(9)	+	-	(3)
98	17	48	31	1	+	9	2	1	6	-	+	-	1	1	-	-	-	-	7	20	-	-	2
91	28	32	35	2	+	11	3	+	7	1	1	-	1	1	+	-	-	-	4	4	-	1	4
165	(28)	(19)	(13)	(5)	(6)	(3)	+	+	-	(11)	(28)	(31)	(4)	+	-	+	-	-	-	-	-	-	(13)
111	64	16	+	7	3	5	8	5	-	+	22	5	11	5	13	-	-	-	7	4	1	8	7
157	19	51	8	7	1	1	1	+	+	+	12	16	3	6	3	-	-	-	-	23	72	12	11

Tableau 71.- Tableau typologique moyen basé sur les nombres de valves des principaux taxons comptés (pour un total de 500 valves pour tous les taxons). ABC: dendrogramme des taxons; I-II-III: dendrogramme des stations. Les nombres entre parenthèses ne sont pas des nombres moyens: ils correspondent à des stations prospectées une seule fois. Pour les numéros et les abréviations des noms des taxons, voir liste en annexe.

STATIONS n°	GEOLOGIE	TYPE CHIMIQUE MOYEN Type	pH moy	alc.moy.	ASSEMBLAGE MOYEN n°	Composition	VARIATIONS SAISONNIERES Printemps (3-4) t°	pH	alc.	Assemblage n°	Composition	Eté (6-7) t°	pH	alc.	Assemblage n°	Composition	Automne (10-11) t°	pH	alc.	Assemblage n°	Composition
35	Rv_2	1	3.6	0.0	I.1	EEXIG dt	3.0	3.6	0.0			-	-	-	-	-	-	-	-	-	
160	Rv_2	1	3.9	0.0			2.5	4.0	0.0			14.5	3.8	0.0			-	-	-	-	
29	Rv_2	2	3.7	0.0			5.2	3.6	0.0	1	EEXIG dt	15.6	3.8	0.0			5.7	3.8	0.0	1	EEXIG dt
252	Rv_2	1	3.7	0.0			4.7	3.5	0.0			12.3	3.6	0.0	1	EEXIG dt	8.2	3.8	0.0		
61	Rv_2 (Sm)	2	4.5	0.0			7.5	4.3	0.0			8.6	4.7	0.0			-	-	-	-	
75	Rv_2-Rv_3-Sm	5	4.9	0.7			4.5	4.6	0.0			15.2	5.7	2.0			6.8	4.3	0.0	1(2)	EEXIG dt (+AMINU,FRACAP)
253	Rv_2+tonalité	1	3.8	0.0	I.2	EEXIG dt +AMINU (GOPARV)	8.6	3.9	0.0			11.9	4.0	0.0	1	EEXIG dt	5.8	3.7	0.0	2	EEXIG dt AMINU
38	Rv_2-Rv_3	3	4.4	0.3			3.5	3.9	0.0			13.9	4.4	0.0	1(2)	EEXIG dt (+ERHOM)	6.3	5.1	1.0	3/2/4	EEXIG dt ERHOM / AMINU / FRURSA ANSERB
93	Rv_2+tonalité	2	4.1	0.0			6.2	4.0	0.0	1	EEXIG dt	11.9	4.1	0.0			5.5	4.3	0.0		
150	Rv_2+tonalité	2	4.9	0.7			3.0	4.4	0.0			10.8	4.4	0.0	1(3)	EEXIG dt (+ECURV)	5.4	5.8	2.0	6/5	EEXIG dt AMINU cdt / ERHOM,GOPARV
133	Rv_2(+pouhons!)	5	5.9	2.0			2.0	5.0	1.0			18.6	6.2	2.0	1	EEXIG dt	8.5	6.6	3.0	6	EEXIG dt AMINU cdt SUROBA
95	Rv_2	2	3.9	0.0	I.3	EEXIG dt ERHOM cdt (ECURV)	3.0	3.8	0.0			12.1	3.9	0.0	3	EEXIG dt ERHOM cdt	10.0	4.1	0.0	3	ERHOM dt EEXIG cdt
94	Rv_2	2	4.1	0.0			6.5	4.2	0.0			12.3	4.0	0.0			10.0	4.1	0.0		
96	Rv_2	2	4.0	0.0			5.0	4.0	0.0			-	-	-	-	-	-	-	-	-	
148	Rv_2	3	4.6	0.7			4.5	4.3	0.0			9.0	3.9	0.0	1	EEXIG dt	9.0	5.6	2.0	3	EEXIG dt ERHOM cdt (ECURV)
6	Rv_2	2	4.2	0.0			4.0	4.1	0.0			11.3	4.2	0.0	3	EEXIG dt ERHOM	7.6	4.2	0.0		
138	Rv_2	2	3.9	0.0			2.5	4.0	0.0			7.1	3.8	0.0	1(2)	EEXIG dt (+RHOM)	-	-	-	-	
139	Rv_2	3	4.1	0.2			3.4	3.8	0.0	3	EEXIG dt ERHOM cdt (+ECURV)	12.4	4.1	0.0			10.2	4.6	0.5	3(7)	EEXIG cdt ERHOM cdt (+AAUSTH)
12	Rv_2	2	4.1	0.0			5.0	4.1	0.0			11.2	4.0	0.0	3	EEXIG dt ERHOM cdt (+ECURV)	8.0	4.2	0.0	3(2)	EEXIG dt ERHOM cdt, ECURV (+ANSERB)
33	Rv_2	2	4.2	0.0			4.4	4.1	0.0			14.8	4.3	0.0			9.3	4.2	0.0	3/7	EEXIG dt ERHOM cdt, TABFLO
129	Rv_2	2	4.0	0.2			1.5	3.8	0.0			14.1	3.7	0.0			8.2	4.6	0.5	3	EEXIG dt ERHOM cdt
162	Rv_2	1	3.6	0.0			-	-	-		-	8.9	3.4	0.0	1	EEXIG dt	8.8	3.9	0.0	4	EEXIG dt ERHOM, ECURV
9	Rv_2	2	4.0	0.1			3.7	4.0	0.0	1-3	selon que ERHOM est dt ou cdt	11.0	4.2	0.0	1-3	selon que ERHOM est dt ou cdt	6.2	4.2	0.3	3	EEXIG dt ERHOM cdt (ECURV)
23	Rv_2	1	3.9	0.0		EEXIG dt ERHOM, ECURV cdt, FRURSA	2.0	4.0	0.0	3	EEXIG dt ERHOM (ECURV)	7.1	3.7	0.0	4	EEXIG dt ERHOM, ECURV, FRURSA	9.0	4.1	0.0	4	EEXIG dt ERHOM, ECURV < FRURSA EFECTM
30	Rv_2-Rv_3	4	4.8	1.7		+TABFLO, FRAVI EPECTM +ANSERB AMINU, FRACAP	6.5	4.0	0.0	4/5	ECURV dt EEXIG cdt, FRURSA / ERHOM	10.6	4.6	0.0	4/7	EEXIG dt ERHOM, ECURV, TABFLO/FRAVI, EPECTM	6.7	5.8	5.0		
39	Rv_2-Rv_3-Gd-S_1	4	4.7	1.0	I.4		4.0	4.1	0.0	4/5 4/3	ECURV dt FRURSA, ANSERB / EEXIG cdt, ERHOM (1976) EEXIG dt ECURV, FRURSA, ANSERB (+AMINU, FRACAP) ERHOM cdt (1977-1978)	14.3	4.8	0.9	4/5 4/3	(1976) comme au printemps (1977-1978)	8.1 7.8	6.2 5.2	5.0 1.3	8/5(7) 4/3/7	FRACAP dt AMINU cdt (+EEXIG)/ERHOM (FRURSA, ANSERB) (1976) EEXIG dt ECURV cdt FRURSA, ANSERB / ERHOM cdt / TABFLO, FRACAP (1977-1978)
43	Rv_2-Rv_3-Sm	4	4.7	1.0			4.1	4.1	0.0	4/7 ou 3(2)	EEXIG dt FRURSA, ANSERB / EEXIG cdt, ERHOM (1976) EEXIG dt ERHOM cdt (ANSERB) (1977-1978)	12.4	4.9	0.8	3(2)(4) 3(2)(6)	EEXIG dt ERHOM (ANSERB) (TABFLO) (1976) EEXIG dt ERHOM (ANSERB) (FRURSA) (1977-1978)	6.8 8.3	6.2 4.9	6.0 1.0	7/4/5(9) ou 5/4	FRACAP dt TABFLO, AMINU / ANSERB / ERHOM (EEXIG) (1976) EEXIG dt ERHOM / ANSERB (1977-1978)
140	Rv_2	2	4.2	0.0	I.5	EEXIG dt AAUSTH cdt, ERHOM, PHILS	3.0	4.2	0.0	3/5	EEXIG dt ERHOM cdt / PHILS	9.1	3.8	0.0	3/5	comme au printemps	10.6	4.5	0.0	3/5	EEXIG dt / ERHOM, AAUSTH
143	Rv_2-Rv_3-Sm	3	4.3	0.0			5.0	4.5	0.0	5(7)	EEXIG dt AAUSTH (PHILS)	11.0	4.2	0.0	3/5(6)	comme au printemps	11.0	4.2	0.0	3/5(6)	EEXIG dt / ERHOM (AAUSTH)
175	Rv_2-Rv_3	3	4.4	0.0			4.2	4.4	0.0	5	EEXIG dt ERHOM, AAUSTH	-	-	-	-		-	-	-	-	-
173	Rv_2-Rv_3-Sm	3	4.4	0.2			5.4	3.9	0.0	5(6)	EEXIG dt ERHOM, PHILS (NAMINI)	17.1	4.3	0.0	1/3	EEXIG dt / ERHOM	11.3	4.9	0.5	5	EEXIG dt ERHOM, AAUSTH
168	Rv_3	4	4.6	1.0			-	-	-	-	-	18.6	4.6	1.0	5/7	EEXIG cdt, PHILS cdt AAUSTH dt / TABFLO, FRAVI	-	-	-	-	-
176	Rv_2+silex	4	5.0	1.0		(+AMINU, GOPARV, FRACAP)	2.5	4.5	0.8	1/5(6)	EEXIG dt AAUSTH / FRAVI, PHILS	13.4	5.4	1.7	5/7	EEXIG dt AAUSTH / FRAVI, PHILS	8.7	5.3	0.8	5/7(4)(6)	EEXIG dt AAUSTH, PHILS, AMINU / FRAVI, ECURV (FRACAP) (ERHOM, GOPARV, NACRY, ALANC)
145	Rv_2-Rv_3-Sm	5	5.2	1.5			5.6	4.6	0.5	5/7/6	AAUST dt / EEXIG cdt / SUROBA	13.2	4.8	0.5	5/6	EEXIG dt / AAUSTH cdt, PHILS, AMINU / SUROBA	11.5	6.2	3.5	7/5/6	EEXIG dt GOPARV / AAUSTH cdt, PHILS / SUROBA, AMINU NIARCH, NAMINI, ALANC
144	Rv_2-Rv_3-Sm	4	5.2	2.0	II.6	EEXIG dt AMINU cdt, AAUSTH, SUROBA GOPARV, FRACAP, ALANC, NAMINI, NIARCH	5.0	4.8	1.0	5	EEXIG dt ERHOM, AAUSTH, AMINU	10.1	5.0	1.0	2(6)	EEXIG dt AMINU (AAUSTH)	9.8	5.8	4.0	6/7	EEXIG dt AMINU cdt AAUSTH, GOPARV, NIARCH / PHILS SUROBA, FRACAP
170	Rv_3-Sm-silex	7	5.7	2.9			5.9	4.6	0.0	6/7(8)	AMINU dt GOPARV, FRACAP, ALANC, NIARCH / EEXIG cdt (SUROBA)	12.0	5.7	2.0	4/6/5 (7)(8)(9)	EEXIG dt / AMINU cdt NIARCH / ERHOM (PHILS) SUROBA TABFLO, EPECTM)(FRAVI)	7.9	5.7	3.5	6/5(7)(8)	EEXIG dt AMINU cdt GOPARV, AAUSTH, NIARCH / ERHOM (FRURSA, PHILS, AAUSTH)(SUROBA, EPECTM)
59	Rv_2-Rv_3	7	5.8	10.0			8.5	4.7	0.0	6/5(3)(8)	EEXIG dt AMINU cdt, GOPARV, FRACAP, CYMIN, NACRY / ERHOM PHILS (ECURV)(SUROBA, FRAVA)	8.2	5.2	2.0	2/6	EEXIG dt AMINU / NIARCH	12.6	7.4	28.0	9/10	AMINU dt FRACAP
63	Rv_2-Sm	6	5.9	3.9			6.3	4.7	1.0	6/5/9	EEXIG dt AMINU cdt, AAUSTH, GOPARV, FRACAP, ALANC, NAMINI NIARCH / ERHOM / EPECTM, CYMIN (1976 et 1977)	8.7 11.7	6.2 6.3	4.0 3.0	8/9 6	FRACAP dt AMINU cdt GOPARV / CYMIN, FRARUM (1976) EEXIG dt AMINU cdt GOPARV, FRACAP, NACRY, ALANC (1977)	12.2 7.0	7.3 6.0	13.0 4.5	9/10 6(8)(9)	AMINU dt FRACAP (1976) AMINU dt GOPARV (CYMIN)(EEXIG) (1977)
130	Rv_3+silex	7	6.1	5.3			5.8	6.1	5.0	6/7	AMINU dt GOPARV, AAUSTH, ALANC / SUROBA cdt, EEXIG cdt FRAVI, PHILS, ECURV	15.6	6.4	5.0	6/7	AMINU dt GOPARV, FRACAP, AAUSTH, NAMINI SUROBA cdt EEXIG cdt ECURV	8.1	6.1	6.0	6/7(8)	AMINU dt GOPARV, FRACAP, SUROBA, NIARCH, AAUSTH ALANC / EEXIG cdt PHILS, ECURV (TABFLO)
153	Rv_2-Rv_3	6	6.2	10.0			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.6	6.2	10.0	6	AMINU dt EEXIG, AAUSTH, SUROBA, GOPARV, NIARCH
198	tonalité(forage)	11	6.8	5.4			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.5	6.8	54.0	6	AMINU dt GOPARV, AAUSTH, [illegible], NIARCH
167	Rv_2-Rv_3	4	5.8	1.5	II.7	EEXIG dt FRACAP cdt, AMINU cdt, SUROBA, TABFLO, ASAXO, FRAVI, EPECTM GOPARV	-	-	-	-	-	17.4	5.8	2.0	7(2)	EEXIG dt FRACAP cdt, GOPARV, ANSERB, SUROBA, TABFLO (AMINU)	5.8	5.7	1.0	7/8	FRACAP dt AMINU cdt GOPARV, EPECTM, AAUSTH, ECURV, ASAXO TABFLO / EEXIG
31	Sm	6	6.0	4.4			4.6	5.1	1.2	4/7(8)	EEXIG dt ERHOM, ECURV, AMINU, FRACAP, FRURSA, ANSERB / TABFLO FRAVI, EPECTM, PHILS, GOPARV (SUROBA)	12.5 11.9	6.4 6.4	5.0 5.3	7/6(5) 6/7/9/4	TABFLO dt FRACAP cdt, EEXIG cdt FRAVI, EPECTM, ECURV / GOPARV (AMINU) (1976) EEXIG dt / TABFLO cdt SUROBA, EPECTM, FRAVI, ECURV, FRURSA PHILS / GOPARV / ANSERB, AMINU, FRACAP (1977-1978)	8.0 8.0 8.1	6.7 6.5 6.2	11.0 6.0 4.0	7/8 7(8) 9/7	FRACAP dt AMINU cdt TABFLO, ECURV / EEXIG, ASAXO (1976) EEXIG dt FRACAP cdt, AMINU cdt GOPARV, TABFLO, FRURSA ANSERB, PHILS, EPECTM, (SUROBA) (1977) AMINU dt FRACAP cdt GOPARV, TABFLO, EPECTM / EEXIG cdt ECURV, ANSERB, AAUSTH, SUROBA (1978)
119	Sm-Rv_2	6	6.2	3.9			5.5	6.2	3.5	7/5/6	EEXIG dt SUROBA cdt, ANSERB, ECURV, TABFLO, ASAXO, FRAVI EPECTM, DIAHIM, PHILS / ERHOM, AMINU / GOPARV, FRACAP	12.7	6.4	4.3	6/7/5	EEXIG dt GOPARV, ALANC, FRACAP / SUROBA cdt, TABFLO FRAVI, EPECTM, ASAXO, DIAHIM, ANSERB, PHILS, AAUSTH / AMINU ERHOM	6.2 7.1	6.3 6.3	3.0 5.0	6/7/9 7/4/5/6	AMINU dt FRACAP / EEXIG cdt, EPECTM / GOPARV cdt (1976) EEXIG dt SUROBA cdt, ASAXO cdt, TABFLO, FRAVI, EPECTM GOPARV, NACRY, PHILS, FRURSA, ANSERB, DIAHIM / ECURV, AMINU / ERHOM / FRACAP, ALANC, NIARCH (1977-1978)
172	S_1	6	6.4	3.9			4.3	6.0	2.7	4/5/6/7	EEXIG dt TABFLO / AAUSTH / SUROBA, GOPARV, ALANC / ASAXO EPECTM, FRAVI, AMINU, FRACAP, ERHOM. DIAHIM	13.3	6.7	5.3	8/7/9(5)	FRACAP dt EEXIG cdt, TABFLO, CYMIN / PHILS, AAUSTH, FRAVI GOPARV, ERHOM / DIAHIM (AMINU)	8.2	6.5	5.0	9(8)	AMINU dt GOPARV cdt, FRACAP cdt, FRAVI (EEXIG, ASAXO EPECTM, DIAHIM)
121	S_1-Gd	6	6.4	6.6			6.0	6.2	4.5	6/9/7/4	EEXIG dt TABFLO, GOPARV, NACRY / AMINU cdt / FRACAP cdt SUROBA, ASAXO, FRAVI, AAUSTH, EPECTM, DIAHIM / ECURV, FRURSA	11.4	6.7	7.8	7/6/8	FRACAP dt EEXIG cdt, AMINU cdt, ECURV, SUROBA, ASAXO, FRAVI, EPECTM, PHILS / AAUSTH, ERHOM / TABFLO, GOPARV, DIAHIM FRAVA	6.7	6.3	6.8	9/7(8)	AMINU dt FRACAP cdt, GOPARV / EPECTM, ECURV (EEXIG SUROBA, ASAXO, TABFLO, FRAVI, DIAHIM)
19	S_3	8	6.7	9.0	II.8	AMINU et FRACAP dt GOPARV, EEXIG HANNA, TABFLO, ASAXO, EPECTM, DIAHIM CYMIN, FRAVA, SYULN (+AMARG en 19 et 66)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8	6.7	9.0	8/7	AMINU dt DIAHIM, ALANC / ASAXO (+AMARG dt)
169	Rv_3+silex	7	6.0	4.0			5.7	6.0	4.0	8/9/10	AMINU dt FRACAP cdt, GOPARV, EEXIG, EPECTM, FRAVA, SYULN / ALANC, NIARCH / NAMINI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	S_3	6	6.3	4.0			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.8	6.3	4.0	8	FRACAP dt AMINU cdt, GOPARV, EEXIG, TABFLO
189	E_2-E_1	10	7.3	8.0			-	-	-	-	-	18.3	7.3	8.0	8	AMINU dt FRACAP cdt, GOPARV, EEXIG, TABFLO	-	-	-	-	-
66	E_2-E_1	9	6.8	7.7			5.0	6.1	1.0	9/6/10(8)	AMINU dt GOPARV, FRACAP, CYMIN, ASAXO, TABFLO, EPECTM, FRAVI / EEXIG cdt AAUSTH / COPLAE, CYSINU (FRAVA)	16.0	7.1	11.5	8/9	FRACAP dt AMINU cdt, GOPARV, EEXIG, TABFLO, CYMIN / NIARCH	7.1	7.3	10.5	8/9	AMINU dt FRACAP cdt, GOPARV, EEXIG, ASAXO, EPECTM / CYMIN FRAVA, NACRY, NIARCH
20	S_3-S_2	8	7.1	5.7			7.5	6.8	2.0	6(9)(8)	AMINU dt FRACAP, GOPARV (HANNA) (SUROBA)	15.0	7.0	6.0	9/8	AMINU dt FRACAP, HANNA / GOPARV, SUROBA	4.8	7.4	9.0	8/9	FRACAP dt AMINU cdt / NACRY, FRAVA, CYMIN, HANNA
154	S_3	8	6.8	6.8			4.0	6.2	3.0	8/9	AMINU dt FRACAP cdt, GOPARV, HANNA / DIAHIM	13.7	6.9	6.0	8	FRACAP dt AMINU cdt, GOPARV, DIAHIM, FRAVA	7.5	7.0	9.0	8/9	FRACAP dt AMINU cdt, GOPARV, EPECTM, FRAVA / CYMIN, HANNA
190	E_1-S_3	9	7.2	8.0			-	-	-	-	-	18.3	7.2	8.0	8/9	AMINU dt FRACAP cdt, GOPARV, HANNA, EEXIG, SUROBA, FRAVI / DIAHIM, FRAVA	-	-	-	-	-
15	S_3	8	6.8	5.3			6.5	6.5	2.0	9/7(8)	AMINU dt GOPARV cdt, FRACAP, TABFLO / ASAXO, FRAVI (DIAHIM FRAVA, EEXIG, SUROBA)	15.0	6.8	6.0	9/8	AMINU dt FRACAP cdt, EEXIG, SUROBA, FRAVI, HANNA / GOPARV DIAHIM	5.4	7.0	8.0	8(9)	FRACAP dt AMINU dt GOPARV, ASAXO (HANNA)
47	S_2	9	6.7	6.2			6.2	6.6	3.5	8/7/9	AMINU dt FRACAP cdt, EEXIG, TABFLO / SUROBA, FRAVI, GOPARV EPECTM / DIAHIM, HANNA	11.9	6.8	7.6	9/8	AMINU dt FRACAP cdt, GOPARV, EEXIG, SUROBA / HANNA cdt TABFLO, DIAHIM	6.6	6.8	6.0	8	FRACAP dt AMINU cdt, GOPARV, EEXIG, SUROBA, HANNA, TABFLO EPECTM
44	Rv_2-Rv_3-Gd-S_1	9	6.6	2.0	III.9	AMINU dt FRACAP cdt, GOPARV cdt CYMIN cdt, FRAVA cdt, DIAHIM, NACRY HANNA, FRARUM, ALANC, NIARCH, EEXIG SYULN (différentiels de stations GOOLIV, GOCLEV, DIATEE)	5.0	6.6	2.0	9/7	FRACAP dt AMINU cdt, GOPARV, DIAHIM, CYMIN, FRAVA, NACRY ALANC, NIARCH / EEXIG cdt, TABFLO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	S_3	8	6.7	5.0			7.0	6.8	3.0	9(8)	AMINU dt FRACAP cdt, DIAHIM cdt, GOPARV, EEXIG, ASAXO (FRAVA)	13.0	6.6	6.0	9/7	GOPARV dt DIAHIM cdt, NACRY, EEXIG / AMINU, FRACAP, FRAVI	7.4	6.6	6.0	9/7	AMINU dt DIAHIM cdt, GOPARV, FRACAP, NACRY, NIARCH, EEXIG FRAVI, EPECTM, ALANC, NAMINI / ASAXO
42	Rv_2-Rv_3-Gd-S_1	9	6.6	6.2			5.0 4.5	6.6 5.6	3.0 1.0	4/6(3) 5	EEXIG dt TABFLO, FRAVI / AMINU cdt, FRACAP, GOPARV, AAUSTH SUROBA, NACRY, FRAVA, CYMIN (ECURV) (1976) EEXIG dt AAUSTH cdt, AMINU, GOPARV (1977)	11.9 13.7	6.8 7.0	7.0 8.0	8/6/9 5/6(7)	HANNA dt AMINU dt, GOPARV, FRACAP, NIARCH, TABFLO / CYMIN EEXIG (1976) AAUSTH dt / EEXIG cdt, SUROBA, AMINU, GOPARV, FRACAP, NACRY (DIAHIM) (1977)	7.2 8.5	7.0 6.7	10.0 8	9/6(8) 8(6)	AMINU dt CYMIN cdt, GOPARV, NACRY, FRARUM / FRACAP (FRAVA) (1976) FRACAP dt AMINU cdt, GOPARV, EEXIG, SUROBA, TABFLO, FRAVA (AAUSTH, NACRY) (1977)
122	S_1-Gd-Sm	9	6.8	7.2			5.6	6.4	5.1	6/9/7	AMINU dt FRACAP, AAUSTH, SUROBA, ALANC, NAMINI / DIAHIM cdt CYMIN cdt, NACRY, FRAVA, FRARUM / EEXIG, ASAXO, GOPARV, EPECTM FRAVI	14.0	7.0	7.7	8/9(7)	FRACAP dt AMINU cdt, HANNA cdt, GOPARV, DIAHIM, SUROBA / FRAVA, CYMIN, FRARUM, NIARCH (AAUSTH)	7.8	6.8	8.3	8/9(7)	AMINU dt FRACAP dt GOPARV, EPECTM, FRAVA / CYMIN cdt, ASAXO EEXIG, DIAHIM, FRARUM, SUROBA, NACRY, ALANC, NIARCH (AAUSTH)
191	S_3-E_1	10	6.9	9.0			-	-	-	-	-	16.6	6.9	9.0	9(8)	AMINU dt GOPARV, FRACAP, DIAHIM, CYMIN, FRAVA, HANNA, EEXIG (NACRY) +GOOLIV et GOCLEV !	-	-	-	-	-
91	E_1	10	7.0	9.9			6.5	6.8	4.3	9/6	AMINU dt DIAHIM cdt, FRAVA cdt, CYMIN cdt, GOPARV, HANNA FRARUM, GOOLIV, GOCLEV / FRACAP	13.0	7.2	12.4	9(10)	AMINU dt FRACAP cdt GOPARV, DIAHIM, FRAVA, CYMIN, HANNA FRARU, NACRY, SUROBA (CYSINU) +GOOLIV, GOCLEV, SYULN	6.1	7.1	13.0	9(8)(10)	AMINU dt FRACAP cdt GOPARV, FRAVA, CYMIN, HANNA, NIARCH (DIAHIM)(CYSINU)+SYULN, GOCLEV
40	Gd-S_1	10	7.0	11.3			6.5 2.3	7.0 6.0	7.0 5.0	9/7/6 9/7(8)	FRAVA dt CYMIN cdt, TABFLO, FRARUM / FRACAP cdt, AMINU DIAHIM / GOPARV (DIATEE dt!) (1976) GOPARV dt FRAVA dt TABFLO, DIAHIM, FRAVI, NACRY / AMINU FRACAP (CYMIN) (1977)	13.2 16.0	7.2 7.4	13.0 10.0	9(8) 9(8)	CYMIN dt AMINU dt FRACAP, GOPARV, FRAVA, FRARUM, NACRY NIARCH (DIAHIM)+DIATEE cdt ! (1976) AMINU dt GOPARV cdt, FRACAP cdt, TABFLO, FRAVA cdt, CYMIN NACRY, NIARCH (DIAHIM) (1977)	8.0 7.9	7.2 7.3	20.0 13.0	8/9 9/7	FRACAP dt AMINU cdt, CYMIN, GOPARV cdt, FRAVA cdt, NACRY (1976) AMINU dt FRACAP cdt, FRAVA cdt, GOPARV, CYMIN, NACRY / SUROBA (1977)
67	E_2-E_1-S_3	10	7.1	13.0			8.5	7.1	4.0	7/9	FRACAP dt AMINU cdt, ASAXO / GOPARV cdt, DIAHIM, CYMIN FRAVA cdt, FRARUM, ALANC	18.6	6.8	20.0	9	AMINU dt CYMIN dt NACRY cdt, GOPARV, FRACAP, DIAHIM, FRAVA HANNA, FRARUM, EPECTM, NAMINI, NIARCH	6.0	7.4	15.0	9	AMINU dt CYMIN cdt, FRACAP cdt, GOPARV, NACRY, FRAVA FRARUM, NIARCH
88	E_1	11	7.1	21.8			8.5	6.8	5.0	9/8	AMINU dt CYMIN cdt, FRAVA cdt, FRACAP, FRARUM / GOPARV HANNA cdt	20.2	7.2	23.4	9	AMINU dt FRAVA cdt, CYMIN cdt, FRACAP, HANNA, NIARCH	8.4	7.4	37.0	9/6	AMINU dt FRACAP cdt, GOPARV, NACRY, FRAVA, CYMIN / NIARCH cdt
89	E_1	11	6.9	21.0			8.5	6.6	5.0	6/9	AMINU dt GOPARV / FRAVA cdt, CYMIN cdt, FRARUM	18.5	6.8	32.0	9/8(10)	AMINU dt CYMIN cdt, FRACAP, NACRY, FRAVA, HANNA, FRARUM GOOLIV / GOPARV (CYSINU)	8.0	7.4	26.0	9/7/10	AMINU dt GOPARV, FRACAP, NACRY, CYMIN, HANNA, NIARCH / EPECTM / NAMINI, CYSINU (+NAPERM)
98	E_1-S_3	10	7.2	12.3			3.0 6.5	7.5 6.8	6.0 3.0	9/6 6/9/8	CYMIN dt GOPARV, DIAHIM, FRAVA / AMINU cdt (+GOOLIV GOCLEV!!) (1976) AMINU dt FRACAP / DIAHIM, GOPARV / HANNA, CYMIN (+GOOLIV GOCLEV!!) (1977)	16.4	7.0	13.0	9/8(10)	AMINU dt FRACAP cdt, DIAHIM, CYMIN, HANNA / GOPARV, FRAVA (CYSINU)	6.4	7.5	19.5	9	AMINU dt FRAVA cdt, FRACAP cdt, CYMIN, (+SYULN!)
68	E_1	10	7.2	14.7			7.0	7.0	4.0	7/6/9(5)	EEXIG dt TABFLO / AMINU cdt, SUROBA, GOPARV, FRACAP, NAMINI NIARCH / CYMIN cdt, FRAVA, FRAVI, EPECTM / ERHOM	20.8	7.2	24.0	6/9(8)	AMINU dt GOPARV, FRACAP, NIARCH / CYMIN (FRAVA) (+NIPA'CEA!!)	6.6	7.4	16.0	9	AMINU dt CYMIN cdt, GOPARV, FRACAP, FRAVA, FRARUM NIARCH, EEXIG
188	E_1	10	7.5	10.0			-	-	-	-	-	18.3	7.5	10.0	9	AMINU dt GOPARV cdt FRACAP, DIAHIM, CYMIN, NACRY, ALANC NIARCH, EEXIG	-	-	-	-	-
[illegible]	[illegible]	10	6.7	13.0	III.10	AMINU dt GOPARV, DIAHIM, CYMIN FRAVA, ALANC, NAMINI, NIARCH, GOOLIV COPLAE, CYSINU	-	-	-	-	-	[illegible]	[illegible]	13.0	10(9)	[illegible] dt GOPARV cdt, AMINU, DIAHIM, CYMIN, [illegible] ALANC, NAMINI, COPLAE (FRARUM, EEXIG)	-	-	-	-	-
157	E_1	10	7.3	13.0			6.6	6.8	8.0	10	GOOLIV dt AMINU cdt, DIAHIM cdt, CYMIN cdt, FRACAP, GOPARV ALANC, NAMINI, CYSINU, COPLAE	13.2	7.5	12.5	10/9	AMINU dt GOPARV, FRACAP, ALANC, NAMINI, CYSINU, COPLAE, NIARCH, FRAVI, GOOLIV / CYMIN cdt, DIAHIM	5.7	7.4	15.7	10/9/8	AMINU dt COPLAE cdt, CYMIN cdt, FRACAP, CYSINU / ALANC NACRY, FRAVA / DIAHIM
111	E_1	11	7.3	23.3			3.0	7.4	10.0	10/9(8)	AMINU dt GOPARV, ALANC, CYSINU / DIAHIM cdt, CYMIN, NACRY NAMINI (EEXIG)	17.4	7.0	32.0	10/9	AMINU dt DIAHIM cdt, GOPARV, CYMIN, ALANC, NAMINI, CYSINU / NACRY, NIARCH (+NAGREG, NALANC, AMPHOPE)	7.6	7.4	28.0	10(8)	AMINU dt (CYMIN)(+GOCLEV)

Tableau 89.- Végétation algale potentielle des eaux des rivières du nord du massif Ardennais, corrélations avec la géologie, le pH et l'alcalinité et variations saisonnières des peuplements (printemps : 3 = mars, 4 = avril; été : 6 = juin, 7 = juillet; automne : 10 = octobre, 11 = novembre). En italiques : taxons acidophiles et acidobiontes; en lettres droites : taxons neutrophiles.
[rectangle] : acidophile ou acidobionte dominant;
[ovale] : neutrophile dominant;
nom souligné : taxon codominant.
Les abréviations des noms des taxons sont expliquées sur une liste donnée en annexe.